

НАУЧНО-★
ПОПУЛЯРНАЯ
БИБЛИОТЕКА
ВОЕННОГО ИЗДАТЕЛЬСТВА



П. Т. АСТАШЕНКОВ

ЧТО ТАКОЕ БИОНИКА

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ БИБЛИОТЕКА

П. Т. АСТАШЕНКОВ

ЧТО ТАКОЕ БИОНИКА

ВОЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ СССР

Москва — 1963

ОТ ИЗДАТЕЛЬСТВА

Читатель брошюры инженер-полковника Асташенкова П. Т. «Что такое бионика» узнает о новой отрасли кибернетики — бионике, занимающейся изучением объектов, процессов и явлений живой природы, знания о которых могут быть использованы в новейшей технике. Среди отраслей техники, говорится в брошюре, где могут быть применены получаемые данные, наибольшее значение имеют радиолокация, связь, инфракрасная аппаратура, электронно-вычислительные машины. Автор убедительно доказывает, что выводы бионики способны сыграть важную роль в развитии военной техники — аппаратуры обнаружения, связи, управления, автоматики.

Брошюра рассчитана на массового читателя.

НАЧАЛО ПОЛОЖИЛА КИБЕРНЕТИКА

Все более популярной становится в настоящее время кибернетика — отрасль науки, родившаяся в первые годы после второй мировой войны. Она занимается математическим исследованием процессов управления и связи в живых организмах и автоматических устройствах. Это научное направление возникло на стыке точных, технических и биологических наук, в ее создании и развитии участвовали математики, физики, инженеры, биологи, врачи, лингвисты. Поскольку кибернетика для исследования процессов управления и строения управляющих систем самой различной природы прибегает к помощи математических методов, она могла развиваться лишь на основе всего накопленного наукой в области теории вероятностей, дифференциальных уравнений, математической логики, теории информации.

Первым трудом, в котором была сделана попытка систематизировать основы кибернетики, была книга американского математика Н. Винера «Кибернетика, или управление и связь в животном и машине» (1948 г.). В разработке основных идей, изложенных в этой книге, участвовали американские ученые К. Шеннон, А. Розенблют и другие.

В развитие математических дисциплин, играющих большую роль в кибернетических исследованиях, внесли существенный вклад замечательные русские ученые А. А. Марков, А. Н. Колмогоров, Н. Н. Боголюбов. Еще до окончательного формирования кибернетики как науки В. А. Котельников осуществил глубокие исследования общей теории связи, А. Я. Хинчин дал строгое математическое истолкование теории информации.

Что же нового в принципиальной постановке вопросов несет кибернетика? Она рассматривает задачи управления в общем виде, не входя в подробности конкретного устройства отдельных механизмов, узлов и т. д. То же самое и в теории связи. Вопросы решаются кибернетикой без уточнения, к каким видам связи они относятся — к телеграфу, радио, телефону или какому-либо другому. В результате такой постановки вопросов появляется возможность под определенным углом зрения рассматривать общее в процессах управления и связи в машинах и организмах, проводить аналогии между вычислительной техникой и мозгом человека.

Все мы знаем такие технические автоматы, как регулятор скорости движения локомотива, станки-автоматы, автоматические телефонные станции, автоматы управления энергосистемами, автоматы управления ядерной реакцией, автоматические метеостанции, автопилоты. Действия автомата могут быть запрограммированы, например работа станка-автомата. Но есть и автоматы, способные выполнять разнообразные задачи в зависимости от внешних условий. К ним относятся автопилоты, устанавливаемые на современных самолетах, и авторулевые, предназначенные для автоматического удержания корабля на прямом курсе.

Поясним принцип действия подобных автоматов на примере авторулевого (рис. 1). Под воздействием многих возмущающих факторов (волны, ветра) корабль может отклониться от заданного курса. Чувствительный элемент — гирокомпас — оценивает величину и направление отклонения от курса и на своем датчике вырабатывает сигнал, пропорциональный этому отклонению. Этот сигнал через промежуточные звенья поступает в специальные устройства, которые вырабатывают команды в виде электрического напряжения, управляющего работой исполнительного двигателя. Под действием приложенного напряжения двигатель приходит в движение и через механическую передачу производит перекладку пера руля в сторону, противоположную изменению курса. После нескольких перекладок руля корабль выходит на заданный курс и все управляющие элементы авторулевого занимают исходное положение.

Мы так подробно остановились на действии авторулевого потому, что в нем отчетливо видны характер и

особенности так называемых систем с обратной связью, привлекающих и кибернетику. Понятие обратной связи считается общим для техники и биологии. Принцип обратной связи используется, например, в системе, управляющей равновесием человека. Определяющую

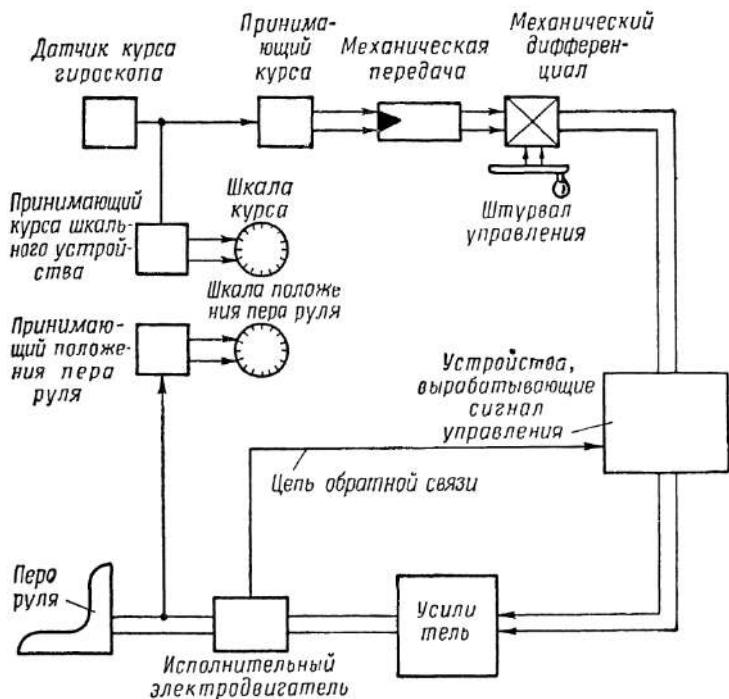


Рис. 1. Схема авторулевого корабля

роль обратных связей в построении и регуляции движений живых организмов установили в конце двадцатых годов советские ученые.

На рис. 2 показана структурная схема устройства с обратной связью. Ее действие легко пояснить на том же примере с авторулевым. В схеме $A(t)$ — заданный курс, $B(t)$ — реально выдерживаемое направление. По каналу обратной связи к сравнивающему элементу C подводится сигнал с выхода, и, если $B(t)$ отличается от заданного направления, вырабатывается сигнал рассогласования,

равный $A(t) - B(t)$, который усиливается в усилителе. Он воздействует так, чтобы свести рассогласование к нулю. Когда рассогласование при отсутствии внешних воздействий стремится к нулю, обратную связь называют отрицательной.

Такая обратная связь важна не только для осуществления различных движений живого организма, но и для осуществления физиологических процессов в нем, для продолжения самой его жизни. Правда, эти обратные

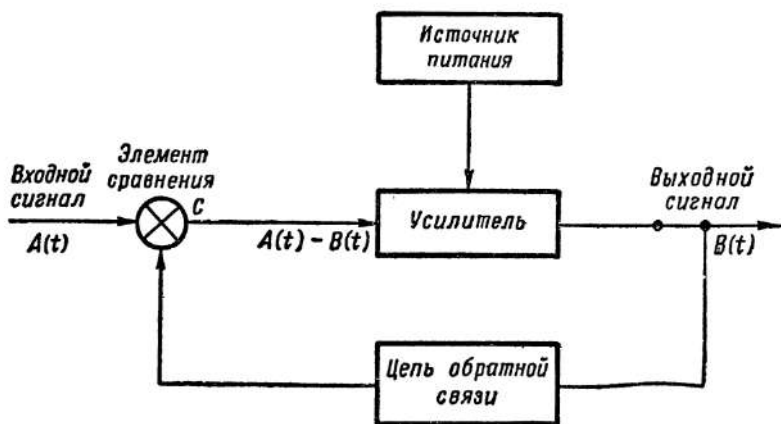


Рис. 2. Структурная схема устройства с обратной связью

связи действуют медленнее, чем обратные связи движений и поз. Известно, как жестки рамки существования высшего животного с точки зрения температуры, обмена веществ и т. д. Изменение температуры тела на полградуса считается признаком заболевания, а изменение температуры на пять градусов ставит под вопрос жизнь организма. Очень строги требования к осмотическому давлению крови и концентрации в ней водородных ионов. В организме должно быть определенное количество лейкоцитов для защиты от инфекции, обмен кальция должен быть таким, чтобы кости не размягчались и ткани не кальцинировались. Можно привести и многие другие примеры, которые показывают, что в теле человека имеется огромное количество термостатов, автоматических регуляторов и иных устройств с обратной связью.

Их вполне хватило бы для большого химического предприятия.

Сравнивая системы управления в живом организме и машине, ученые вынуждены были все более пристально «вглядываться» в сущность тех своеобразных «приборов», с помощью которых животные и растения воспринимают, анализируют, передают информацию. Данные об устройстве таких «приборов» могут иметь исключительно важное значение для развития многих новых отраслей техники — связи, локации, автоматики, инфракрасной аппаратуры и т. д. В результате возникло новое направление науки, занимающееся изучением биологических процессов и устройства живых организмов с целью получения новых возможностей для решения инженерно-технических задач. Эта новая отрасль науки стала называться бионикой. Название ее происходит от греческого слова бион, что означает элемент жизни (то есть элемент биологической системы).

Многие специалисты считают бионику новой отраслью кибернетики. В соответствии с этим они определяют ее как науку, исследующую пути и методы электронного моделирования природных систем получения, обработки, хранения и передачи информации в живых организмах.

При более широком подходе различают три направления бионики — биологическое, техническое и теоретическое. Биологическая бионика занимается изучением живых организмов для выяснения принципов, лежащих в основе явлений и процессов в них. Техническая бионика ставит своей задачей воссоздание, моделирование процессов в природе и построение на базе этого принципиально новых технических систем и совершенствование старых. Теоретическая бионика разрабатывает математические модели природных процессов. В бионике используются данные биологии, физиологии, анатомии, биофизики, нейрологии, нейрофизиологии, психологии, психиатрии, эпидемиологии, биохимии, химии, математики, связи, авиационной и морской техники и т. д. Ближе всего бионика в настоящее время связана с такими техническими дисциплинами, как радиоэлектроника, авиационное дело, кораблестроение.

Насколько широким может быть круг вопросов, по которым людям есть чему поучиться у природы, покажем

на таких примерах. Интерес специалистов вызвала способность дельфина двигаться в воде без особых усилий со скоростью, максимальной для таких громоздких тел. Было замечено, что вокруг движущегося дельфина возникает лишь незначительное струйное (ламинарное) движение, не переходящее в вихревое (турбулентное) движение. В то время как у плывущей подводной лодки, сходной с дельфином формы, наблюдается высокая турбулентность. На преодоление сопротивления только от этого фактора тратится до $\frac{9}{10}$ ее движущей силы.

Исследования позволили установить, что секрет «антитурбулентности» дельфина скрыт в его коже. Она состоит из двух слоев — внешнего, чрезвычайно эластичного, толщиной 1,5 мм, и внутреннего, плотного, толщиной 4 мм. С внутренней стороны внешнего слоя кожи имеется огромное количество ходов и трубочек, заполненных мягким губчатым веществом. В результате весь наружный покров дельфина действует как диафрагма, чувствительная к изменениям внешнего давления и гасящая возникновение струи путем передачи давления каналам, заполненным амортизирующим веществом.

В США это явление называли «стабилизацией граничной поверхности распределенным гашением». По примеру кожи дельфина создана резиновая оболочка, внутренние каналы которой заполнены амортизирующей жидкостью. Применение такой оболочки на торпеде позволило снизить турбулентность на 50 процентов. В США полагают, что такие оболочки будут весьма ценны для покрытия подводных лодок, самолетов и в других технических устройствах.

Еще один поучительный пример. В лекции «Судьба человечества в атомную эру», прочитанной на Всемирной выставке в Брюсселе, лауреат Нобелевской премии советский ученый Н. Н. Семенов, говоря об осуществлении в недалеком будущем прямого превращения химической энергии в механическую, сослался на аппарат «искусственный мускул». Что же это такое? На основе исследования процессов, происходящих в мышцах, где осуществляется превращение химической энергии в механическую, два швейцарских специалиста создали модель мускула. В нем вместо мышечной ткани используется вещество из семьи молекул-гигантов — полиакриловая кислота.

Из этой кислоты сделана тонкая пленка-лента. Попадая в кислую среду, она находится в состоянии беспорядочно скрученных цепочек. Стоит изменить среду на щелочную, как молекулы полиакриловой кислоты становятся носителями сотен отрицательных зарядов. Они взаимно отталкиваются, молекула распрямляется, пока не принимает форму ленты, когда одноименные заряды будут максимально удалены друг от друга. Обратная замена среды вызывает скручивание молекулы-гиганта и т. д. Если молекулу соединить с грузом, то, выпрямляясь и скручиваясь, она совершит работу. Так химическая энергия непосредственно превращается в механическую. При этом возможно достижение ощутимых результатов. Шнур полиакриловой кислоты диаметром 1 см в состоянии поднимать груз весом до 100 кг. Это уже результат, интересный для техники.

Особый интерес данные бионики представляют для радиоэлектроники. Результаты бионических исследований помогут решить такие проблемы, как накопление и обработка большого количества информации, повысить надежность радиоэлектронных систем, создать новые электронные машины, самоприспосабливающиеся (адаптивные) устройства, добиться дальнейшей микроминиатюризации аппаратуры.

Биологическая бионика особенно активно изучает сейчас свойства органов восприятия — глаз и ушей, элементов нервной системы, способность животных, рыб, птиц и насекомых ориентироваться в окружающем пространстве, осуществлять связь, перемещение и т. д.

В настоящее время техническая бионика находится только в зачаточной стадии, однако уже сейчас за рубежом делаются попытки создания искусственных аналогов нервной клетки и способов, имитирующих элементарные процессы мышления. Считается, что в будущем устройства, имитирующие работу нервной системы, могут способствовать созданию беспилотных космических кораблей для исследования планет Солнечной системы без необходимости дистанционного управления с Земли. На этой же основе мыслится создание широкого комплекса бионических вычислительных машин.

В своих трудах специалисты в области бионики все более приближаются к воспроизведению органов чувств

наиболее высокоорганизованных живых существ и человека с его пятью чувствами. В этой области природа держит пока неколебимое превосходство над творениями рук человеческих. Самым совершенным электронно-вычислительным машинам далеко до возможностей, которыми обладает мозг человека. Нервная система человека одновременно учитывает несравненно больше факторов, имеет большее число параллельных каналов информации, чем любая самая совершенная электронная машина. Если представить себе электронно-вычислительную машину с таким числом элементов, как у мозга, она была бы в сотни миллионов раз больше его. Вот бы науке научиться создавать такие поразительно тонкие и надежные элементы для машин, как клетки нервной системы человека!

Не менее ценно для создания запоминающих устройств было бы исследовать способность накопления и передачи информации хромосомой, структурным элементом ядра клетки животного или растения, играющим важную роль в наследственности организмов. В хромосоме имеется дезоксирибонуклеиновая кислота — органическое вещество, молекула которого имеет громадное число вариантов строения. Подсчитано, что то количество указанной кислоты, которое содержится в одной клетке человеческого тела, способно закодировать информацию, содержащуюся в тексте более 10 тысяч книг с двумястами тысячами слов в каждой.

Особый интерес бионика проявляет к созданию машин, воспроизводящих отдельные свойства центральной нервной системы человека. Это машины-автоматы, способные самонастраиваться, то есть приспосабливаться к изменяющимся условиям работы. В зарубежной печати сообщалось о разработке, например, самонастраивающегося автопилота. В зависимости от условий работы меняются его рабочие характеристики.

Другое свойство нервной системы — способность «узнавать». Это свойство воспроизводится в «узнающих» машинах-автоматах. Такие машины можно использовать для узнавания предметов по их внешним очертаниям, классификации этих предметов и символического изображения. Устройства, способные узнавать и выделять сигнал и настраиваться на него, очень важны в саморегулирующихся системах.

Человек, как известно, способен обучаться. Этой способностью сейчас стараются наделить и машину. Она должна учитывать накопленный опыт и делать выводы на будущее. В военном деле такие машины могут служить для автоматического улучшения уже созданных систем оружия и других целей.

Изучение мозга человека, использование получаемых при этом данных для создания автоматов, способных выполнять хоть часть его функций, открывают замечательные перспективы развития новейших областей современной техники.

Итак, появлению и развитию бионики способствовала возросшая потребность человечества в обработке и передаче огромных объемов информации. Техническая база бионики — достижения в электронно-вычислительной технике и микроминиатюризации аппаратуры. Дальнейшее ее развитие, по мнению зарубежных специалистов, зависит от внимания к аналитическим направлениям в нейрологии, физиологии и других областях биологии, бывшим до сих пор главным образом описательными науками. Безусловно, потребуется и подготовка специалистов, знающих одновременно и биологию, и радиоэлектронику.

Верные своему агрессивному курсу, империалисты Соединенных Штатов Америки и эту новую отрасль науки стремятся использовать в целях подготовки к войне. Министерство обороны США, по сообщениям печати, внимательно наблюдает за развитием бионики. Работами в этой области руководит отдел авиационных разработок исследовательского центра ВВС США. Заказывает работы по проблемам бионики и военно-морской флот США. О значении, которое придается новой науке, начальник американского Управления исследований и разработок ВВС генерал Шривер сказал: «Бионика даст ключ к решению задачи улучшения вооружения и характеристик персонала, обслуживающего оружие». Далее он отметил, что «бионика привлекает внимание американских специалистов тем, что использование живых моделей как ключа к функционированию радиоэлектронных или механических систем открывает новые перспективы в технике».

Среди биологических процессов, которые особенно интересуют американских специалистов, есть и процесс создания «природой микроскопически малых, но чрезвычайно чувствительных воспринимающих элементов».

Привлекают внимание работа нервной системы живых организмов, преобразование нервных импульсов, изучение накопления и восстановления информации и т. д.

Исследования по бионике, проводимые в США, касаются электрических характеристик живых тканей и процессов возбуждения, физиологии и химии биологических «часов», ритмических изменений скорости обменных процессов. Осуществляются также исследования в области бионической математики, изучаются «антенны» бабочек, миграционное поведение голубей, связь у рыб, использование обоняния для ориентации у водных животных, анализ волн в ухе. Разрабатываются теория многомерной информации, математический анализ конструкции вычислительной машины, имеющей 10^9 накопительных элементов.

В сентябре 1960 г. в США состоялся первый национальный симпозиум по бионике под девизом: «Живые прототипы — ключ к новой технике». В нем участвовало 700 человек: радиоэлектроников — 60 процентов, физиков — 10 процентов, математиков — 10 процентов, биологов, биофизиков и биохимиков — 5 процентов, психологов и психиатров — 5 процентов. 25 докладов представили ведущие учебные заведения и фирмы страны.

В 1961 г. в США был организован второй симпозиум по бионике. Во многих докладах освещались результаты исследований, проведенных по заказу ВВС и ВМФ США. Работы в области военного применения бионики в США продолжались в 1962 г. с еще большим размахом. Так, в печати указывалось, что ВВС руководили 14 разработками, а ВМФ поддерживал около 30 работ в этом направлении.

Американские специалисты большую ставку делают на бионику для решения проблем развития связи. Так, перед ними, по их признанию, встали трудноразрешимые задачи обработки информации, циркулирующей в электронной системе, связывающей военные базы, различные виды вооружения. Волнует их и проблема надежности, например системы связи с помощью спутников. В этом случае считается слишком малым достигнутый в США срок службы аппаратуры, его надо увеличивать в 100—200 раз. Специалисты рассчитывают, что изучение надежности функционирования живых организмов даст ключ к решению этой задачи.

Приковывает к себе внимание за рубежом и задача снижения габаритов и веса электронной аппаратуры в авиации. Пока же они не снижаются, а растут быстрыми темпами. Так американский бомбардировщик, выпущенный в сороковых годах, имел 2000 электронных деталей на борту, самолет выпуска 1955 г. — 50 000 электронных деталей, а на боевой машине 1960 г. используется уже 97 000 электронных деталей. Вот почему авиаторов интересуют проблемы габаритов, веса, бортового питания. Не случайно именно представители авиации США выступают застрельщиками изучения и искусственного воспроизведения легких и компактных устройств живых организмов, требующих малого расхода энергии.

В связи со все более широким развитием бионики и большими возможностями, открываемыми для применения ее достижений в военном деле, важно, чтобы как можно более широкий круг людей в нашей стране ознакомился с наиболее важными проблемами, решаемыми новой отраслью науки. Это особенно полезно знать нашим военным читателям.

ЧУДЕСНЫЕ ОРГАНЫ

В последнее время ученые ряда стран очень активно исследуют органы пяти чувств (глаза, уши, органы обоняния, вкуса и осязания) живых организмов. Сверх того изучается способность их чувствовать температуру, боль, вибрации, равновесие и др.

Органы восприятия, по существу, преобразуют один вид энергии в другой и имеют огромную чувствительность, большую, чем соответствующие преобразователи, созданные человеком. Например, оказалось, что некоторые рыбы чрезвычайно чувствительны к запаху. Одна из них может обнаруживать наличие пахучего вещества, если даже на литр раствора его содержится всего 10^{-14} г.

Вызывает интерес и тайна конструкции микроскопического приемника ультразвуковых колебаний, имеющегося у моли, за которой охотятся летучие мыши. Этот приемник, воспринимающий частоты от 10 до 100 кгц, позволяет моли обнаруживать врага по излучению ее локатора на расстоянии до 30 м.

Новые возможности для инфракрасной техники может открыть исследование специального органа гремучих

змей, воспринимающего тепловое излучение и реагирующего на изменение температуры излучающего тела буквально на одну тысячную долю градуса. С помощью этого органа змея, которая вообще-то плохо видит, может находить свою жертву в темноте. Такую чувствительность обеспечить тепловым координаторам систем самонаведения ракет и другим устройствам автоматического управления мечтают зарубежные специалисты.

С особенным вниманием ученые многих стран исследуют органы зрения, посредством которых в организм проникает свыше 90 процентов всей информации. Тщательному изучению подвергаются фоторецепторы — нервные клетки, воспринимающие световое раздражение, процессы передачи энергии от них и обработки визуальной информации. Привлекают специалистов и характер движения глаз, обзор глазом пространства и многое другое.

Интенсивно изучаются в настоящее время глаза лягушки, морского животного — мечехвоста, насекомых. Зарубежные специалисты считают, что исследование строения глаз, механизма зрения и характеристик зрения человека и животных может принести пользу для улучшения систем фоторазведки, уяснения механизма цветного зрения и решения других технических задач.

Не менее сложная задача — разработка искусственных органов зрения. Американской фирмой «Белл-Телефон» построена искусственная система, воспроизводящая одну из четырех функций сетчатки глаза лягушки. Другая фирма построила модель «обнаружителя насекомых» по образу и подобию зрительного аппарата лягушки. Модель содержит семь фотоэлементов, шесть из них вызывают раздражение, а седьмой — торможение искусственного нерва. При отсутствии насекомого все фотоэлементы освещены равномерно и сигналы раздражения и торможения взаимно уравниваются. При появлении насекомого центральный фотоэлемент затемнен, значит, сигнал торможения слаб и на «нерв» действует сигнал раздражения.

Сообщается также о разработке в США электронного устройства, воспроизводящего действие глаза подковообразного краба. Этот глаз заинтересовал ученых тем, что он обладает способностью усиливать контраст изображений видимых объектов. Это свойство глаза краба предполагается использовать для облегчения анализа телевизи-

онных изображений, а также аэрофотоснимков, фотографий Луны и т. д.

Очень существенные результаты дает более обстоятельное изучение органов слуха человека. Известно, что концентрические извилины ушной раковины столь же необходимы для слуха, как и второй глаз для зрения, они обеспечивают возможность определения перспективы — местоположения источника звука. Исследованиями установлено, что благодаря изогнутым извилинам ушной раковины звук поступает к барабанной перепонке разновременно. Это и позволяет определять местоположение источника звука.

Среди возможных применений этого открытия — создание синтетического «наружного уха» для устройства, улавливающего подводные источники звука. Один из ученых в США продемонстрировал толстые диски с просверленными в них тремя отверстиями, которые, как он указал, выполняют роль ушной раковины человека. Такой перфорированный диск, помещенный под головкой микрофона, с которого ведется запись, создает отставание во времени, позволяющее при прослушивании записи определять расстояние и направление звука.

По типу медузы советские ученые построили прибор, предсказывающий приближение шторма. Оказывается, даже такое простейшее морское животное слышит недоступные человеку инфразвуки, возникающие от трения волн о воздух и имеющие частоту 8—13 колебаний в секунду.

У медузы имеется стебелек, оканчивающийся шаром с жидкостью, в которой плавают камешки, опирающиеся на окончание нерва. Первой воспринимает «голос» шторма колба, наполненная жидкостью, затем через камешки этот голос передается нервам. В приборе, имитирующем орган слуха медузы (рис. 3), имеются рупор, резонатор, пропускающий колебания нужных частот, пьезодатчик, преобразующий эти колебания в импульсы электрического тока. Далее эти импульсы усиливаются и измеряются. Такой прибор позволяет определять наступление шторма за 15 часов.

С 1950 г. один из зарубежных специалистов использует искусственное ухо, представляющее собой микрофон особой конструкции. Электрический ток, протекающий в цепи микрофона, возбуждает конечность слухового нер-

ва. Это, конечно, первая, еще несовершенная конструкция, так как в действительности слуховой нерв имеет сложную «шифровку информации». Для воссоздания искусственным путем процесса действия слухового нерва потребуется немало усилий, в частности, специалистов по радиоэлектронике.

В связи с этим за рубежом интенсивно изучается механизм восприятия звуков человеком с помощью электрон-

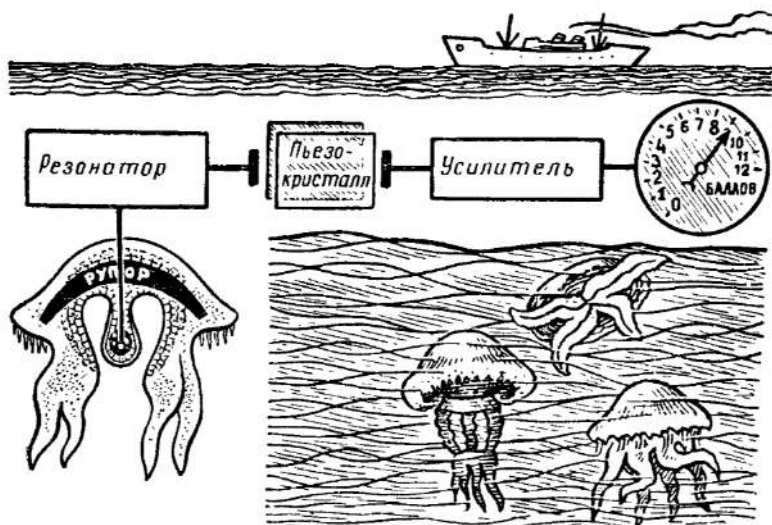


Рис. 3. Схема аппарата — предсказателя шторма

ной модели, воспроизводящей частотные свойства уха. Специалистам удалось проникнуть в суть многих явлений, в частности в процесс восприятия тембра.

Специалисты стараются также создать модель, которая подобно человеческому уху различает слабые сигналы на фоне шумов.

Кроме органов зрения и слуха внимание специалистов привлекают орган температурной чувствительности у кузнечиков (он расположен на двенадцатом членике усиков), у скатов и акул, механизмы чувства времени у животных, птиц и насекомых. Механизмы чувства времени называют биологическими часами. Они управляют ритмами жизнедеятельности организма, причем на один ритм имеется не-

сколько часов. Изучение их у насекомых показало, что они связаны с особыми клетками в нервных узлах. Эти клетки вырабатывают для управления ритмами жизнедеятельности особые гормоны.

Исследования биологических часов проводились в ряде зарубежных университетов и институтов. Они показали, что эти часы нечувствительны к изменению температуры лишь в определенных рамках. При выходе температуры за эти рамки, например при охлаждении до 0° , биологические часы останавливаются. После повышения температуры до нормальной они начинают снова идти, отставая на время остановки.

Специалисты за рубежом стремятся создать электрический аналог биологических часов. В состав аналога введен генератор, характер колебаний которого зависит от воздействия окружающей среды — чередования света и темноты, фаз Луны и т. п. Этот прибор, по замыслу его конструкторов, «должен пролить свет на процессы функционирования биологических систем при воздействии периодически меняющихся условий окружающей среды».

БИОТОКИ И УПРАВЛЕНИЕ НА РАССТОЯНИИ

В павильоне «Атомная энергия» на Всесоюзной выставке достижений народного хозяйства СССР внимание посетителей привлекает манипулятор, который как бы удлиняет руки оператора и позволяет ему выполнять работу там, где никак нельзя находиться человеку. Такая обстановка может, например, возникнуть на предприятии атомной промышленности, где имеются зоны радиоактивного заражения. И вот в том месте, где надо выполнить какие-либо операции, действуют манипуляторы, управляемые на расстоянии. Они обладают большим числом степеней свободы и способны по командам оператора, наблюдающего из безопасного места, выполнять разнообразные операции. Они могут брать сосуды, переливать жидкости, зажигать спички и т. д.

Если вникнуть в устройство манипулятора подробнее, то можно установить, что это — по принципу действия — рычажное устройство. Оно предназначено для выполнения строго определенного числа операций, требуемого для осуществления эксперимента. Но нельзя ли создать мани-

пулятор без рычажной системы? И тут на помощь ученым может прийти знание основ управления в живом организме, и в частности биотоки.

Что такое биотоки и когда они обнаружены? Электрические рыбы, то есть рыбы, в теле которых возникают высокие разности потенциалов, были известны людям задолго до того, как удалось создать первый искусственный источник тока. Конечно, на людей тех отдаленных времен электрические свойства рыб наводили страх, так как в их присутствии из-за электрических разрядов гибли мелкие животные, наносились поражения человеку.

Первым, кто исследовал электричество в живом организме, был итальянец Луиджи Гальвани. В 90-х годах XVIII века он провел ряд опытов с лягушкой и установил, что в нервно-мышечной ткани при определенных условиях возникают кратковременные токи. Электричество, сделал вывод ученый, имеется в живом организме.

Против этих выводов выступил ученый Алессандро Вольта, создавший первый источник тока, названный позже гальваническим элементом. Но современная наука подтверждает правильность выводов Гальвани. Действительно, в живом организме электричество существует.

...У морской рыбы из рода *Astroscoptes* имеется как бы автомат для добычи пищи, основанный на использовании электрической энергии. Глаза и рот у этой рыбы расположены на спине. Если в ее поле зрения попадает небольшой малек, хищник изгибается к «атаке». В момент появления малька на уровне глаз к электрическим органам поступает сигнал, и в сторону малька направляется электрический разряд. Оглушенный малек падает прямо хищнику в рот.

В настоящее время известно свыше ста видов рыб, способных вырабатывать электричество с довольно высокой разностью потенциалов. Так, электрический скат может создать напряжение до 70 в. Разряд при такой разности потенциалов служит средством защиты ската от нападения врагов. Электрический сом в зависимости от раздражения способен вызвать напряжение в 80—100 в и больше, а электрический угорь — от 300 до 500 в.

Рыбы, способные создавать сильные электрические разряды, встречаются главным образом в тропических

морях. Вырабатывают электричество у них специальные электрические органы.

Но это не значит, что только некоторым живым организмам свойственно электричество. Просто у них электрические свойства выражены в более сильной степени. Более слабые токи систематически возникают во всех живых и даже растительных организмах. В исследование токов в организмах, названных биоэлектрическими, внесли большой вклад такие ученые, как Дюбуа-Реймон, И. М. Сеченов и другие. Замечательный русский физиолог Н. Е. Введенский в 1882 г. заставил биотоки подать свой голос: он сумел услышать в телефон токи мышц и нервов человека. Несколько позже наш соотечественник В. Ю. Чаговец на основе обобщения всех полученных до него данных о биотоках обосновал теорию их возникновения в живом организме. Эта теория легла затем в основу современных представлений о биотоках. Возникла специальная отрасль физиологии, занимающаяся электрическими процессами в органах и тканях организма.

Как же она объясняет теперь происхождение биотоков? В процессе обмена веществ между организмом и окружающей средой, между тканями и органами происходят сотни биохимических реакций, образуются электрически заряженные молекулы и атомы, называемые ионами. Положительные ионы (катионы) меньше по размерам, более подвижны, чем отрицательные ионы (анионы). В результате катионы легче проходят через клеточные перегородки, чем анионы, создаются условия для их разделения, то есть образования между отдельными участками мышечной, железистой или нервной ткани разности потенциалов. В теле неработающего человека она достигает 0,01 в, в теле работающего — доходит до 0,03 в. При повреждении тканей разность потенциалов может достигать 0,06—0,07 в. Роль проводника для токов, образующихся в результате наличия разности потенциалов, играют ткани, обладающие более высокой проводимостью, чем соединительные.

Во всех органах и тканях образуются биотоки. Возникают они и при работе сердца, расходясь затем по всему организму. Расслабленное сердце имеет положительный потенциал, сокращенное — отрицательный.

Особенно важное значение придается изучению токов, образующихся при работе мозга. Разность их потенциа-

лов измеряется миллионными долями вольта. Токи мозга можно обнаружить, наложив на голову специальные электроды и соединив их с электронным усилителем (с коэффициентом усиления в десятки тысяч). В результате на экране осциллографа можно видеть характер токов и их изменения. Учеными установлено, что токи мозга обладают определенной ритмичностью. Уже известно несколько таких ритмов — альфа, бета, гамма и другие. Частота изменений у альфа-ритма (8—12 колебаний в секунду), она выше у бета-ритма (20—30 колебаний в секунду) и еще выше у гамма-ритма. Частоты, а значит и ритмы, зависят от состояния, в котором находится человек. Определенное нарушение работы мозга вызывает определенные же изменения биотоков. Такая зависимость характера токов от состояния организма позволяет ученым изучать процессы, происходящие в мозгу человека. И не только изучать, но иногда и судить о том, здоров ли человек, если болен, то чем, и т. д.

А в 1962 г. биотоки мозга были использованы для наблюдения с Земли за состоянием организма космонавтов Андрияна Николаева и Павла Поповича. Для этого ученым пришлось использовать систему биотелеметрии, то есть передачи по радио данных о биотоках. Была создана специальная аппаратура, разработан наиболее эффективный способ отведения биотоков, система наложения электродов.

И вот 11 августа 1962 г. при подготовке А. Николаева к полету ему надели шлемофон с маленькими серебряными электродами в области лба и затылка. На поверхности электродов — тонкий слой специальной пасты. Она уплотняет контакт электродов с кожей.

Провода от электродов подводятся к миниатюрному усилителю, размещенному вместе с источниками питания в маленькой коробочке, а она — в кармане скафандра.

Только начался исторический полет, а на Земле у специалистов космической медицины уже была под руками запись биотоков человека, находящегося в межпланетном пространстве. Такие же записи велись и с борта космического корабля «Восток-4», пилотируемого П. Поповичем. Расшифровка этих записей дала богатый научный материал. Получение первых в истории науки записей биотоков из космоса — выдающееся достижение советской космической медицины и нашей радиоэлектроники.

Исследование биотоков головного мозга космонавтов позволяет получить представление о физиологическом состоянии центральной нервной системы в целом и дает возможность судить о ее реакциях на различные воздействия, связанные с многодневными космическими полетами. Введение в программу наблюдений за космонавтами записи биотоков их мозга преследовало цель исследовать нервно-психическое состояние организма человека при длительном пребывании в состоянии невесомости. Метод исследования биотоков головного мозга в определенной степени позволяет также контролировать состояние сна и бодрствования, утомления и возбуждения.

У космонавтов исследовались на расстоянии не только биотоки мозга, но и электрическая активность сердечной мышцы, кожно-гальванические реакции. Контроль за электрической активностью сердечной мышцы дает представление о состоянии сердечно-сосудистой системы. Он использовался и в предыдущих полетах, что позволило проводить сравнение полученных данных.

Исследование кожно-гальванических реакций также служит задаче изучения состояния центральной нервной системы. Под кожно-гальваническими реакциями понимают сложный комплекс биоэлектрической активности кожи, обусловленный биотоками потовых желез и ее электрическим (омическим) сопротивлением. В результате возбуждения высших вегетативных центров происходит изменение электрического сопротивления кожи. Значит, по нему можно судить о болевых раздражениях, эмоциональных напряжениях и т. п.

В наблюдениях за космонавтами с Земли применялась и регистрация движений глаз, основанная на улавливании разности потенциалов между положительно заряженным глазным яблоком и отрицательно заряженными его внутренними отделами (сетчаткой и оболочкой). Одновременно в некоторых случаях удавалось отмечать и биотоки глазных мышц.

Все эти изменения предназначались для получения объективной информации о нарушениях вестибулярного аппарата космонавтов (аппарата, «ведущего» равновесием тела человека). Дело в том, что при подобных нарушениях наблюдаются произвольные ритмичные движения глазного яблока, характеризующиеся определенным размахом и частотой. Кроме наблюдения за наруше-

ниями вестибулярного аппарата метод регистрации движений глаз дает некоторое представление о двигательной активности космонавта.

Поскольку токи, образующиеся в мозгу, — переменные, то они вызывают в окружающей их среде электромагнитное поле, конечно гораздо более слабое, чем те поля, которые создают антенны радиостанций. Однако и электромагнитное поле мозга можно улавливать. Недавно, например, удалось принять «мозговые» волны на расстоянии в несколько метров. При этом характер волн, как и предполагалось, зависит от того, чем занимается в данный момент человек. И это, по-видимому, также принесет большую пользу науке, особенно медицине.

Уже сейчас в зарубежной печати развернулась широкая дискуссия вокруг телепатии — передачи мыслей на расстоянии. Французский журнал, например, описал будто бы имевший место эксперимент умственной связи между людьми, один из которых находился на берегу, другой — на удалении 2000 км от берега на борту атомной подводной лодки «Наутилус». В назначенные сеансы человек на берегу должен был отгадывать те карты, о которых думал человек, находящийся в плавании. Совпадение будто бы достигло 70 процентов.

Насколько достоверно данное сообщение, трудно судить. Но то, что об использовании физического поля мозга ученые уже думают всерьез, бесспорно.

Но вернемся к биотокам. Мы ведь начали говорить о них в связи с возможностью их применения для совершенствования средств управления на расстоянии, и в частности рычажных манипуляторов. Оказывается, это вполне реальная вещь.

Давайте, читатель, мысленно совершим переход из павильона «Атомная энергия» Всесоюзной выставки достижений народного хозяйства в павильон Академии наук СССР. Здесь представлен биоточный манипулятор. В нем много общего с рычажным, но есть и принципиальное отличие — управление идет от биотоков. Для этого на руку оператора надевается браслет, электроды которого тесно соприкасаются с кожей на участке предплечья. Именно в этом месте расположены мышцы, вызывающие сгибание и разгибание пальцев руки человека. От браслета тянется провод к искусственной кисти — манипулятору. Начнет оператор сгибать свою руку, и искусственная рука

начнет точно такое же движение. Достигается это за счет того, что биотоки, возникающие в мышце, улавливаются браслетом, усиливаются и подводятся к искусственной руке.

На рис. 4 (вверху) показана блок-схема биоэлектрического управления. Она включает токосъем, усилитель, преобразователи, исполнительный орган (манипулятор). Преобразователь предназначен для того, чтобы определить, какое движение намерен выполнить оператор, и дать соответствующий импульс манипулятору. На рис. 4 (внизу) показана схема гидроэлектрического привода искусственной руки биоточного манипулятора.

Как же происходит процесс биоэлектрического управления? Чтобы лучше понять это, надо вспомнить, как осуществляется передача информации от нервных клеток к мозгу человека и приказов от него мышцам. Главную роль в этом играют процессы нервного возбуждения. Нервные клетки (рецепторы), когда на них действует раздражение, «отвечают» сигналами. Причем здесь действует закон: все или ничего. То есть до тех пор, пока раздражение не достигнет некоторого порога, оно не вызывает возбуждения нервной клетки. Как только оно превысит это значение, по нервному волокну проходят импульсы. Эти импульсы направляются в мозг, сообщая информацию: «горячо», «тихо», «громко», «белое», «красное» и т. д.

Приказы мышцам к действию также передаются в форме специфических импульсов. Эти импульсы по нервной сети поступают, например, в мышцы, управляющие движениями кисти руки. Импульсы следуют один за другим с определенной частотой, которая тем выше, чем сильнее надо сжать кисть. Частота достигает десятков и сотен импульсов в секунду, а амплитуда их остается неизменной, так как определяется не силой раздражения, а свойствами нерва.

И вот мы решили использовать биотоки, возникающие в мышце, для управления искусственной рукой. Здесь нас поджидают такие трудности, как малая сила сигналов, наличие большого числа биотоков, из которых надо выделить интересующие нас импульсы. Вот для этого-то и предусмотрены в схеме биоэлектрического манипулятора усилитель и блок преобразования, разгадывающий замыслы оператора.

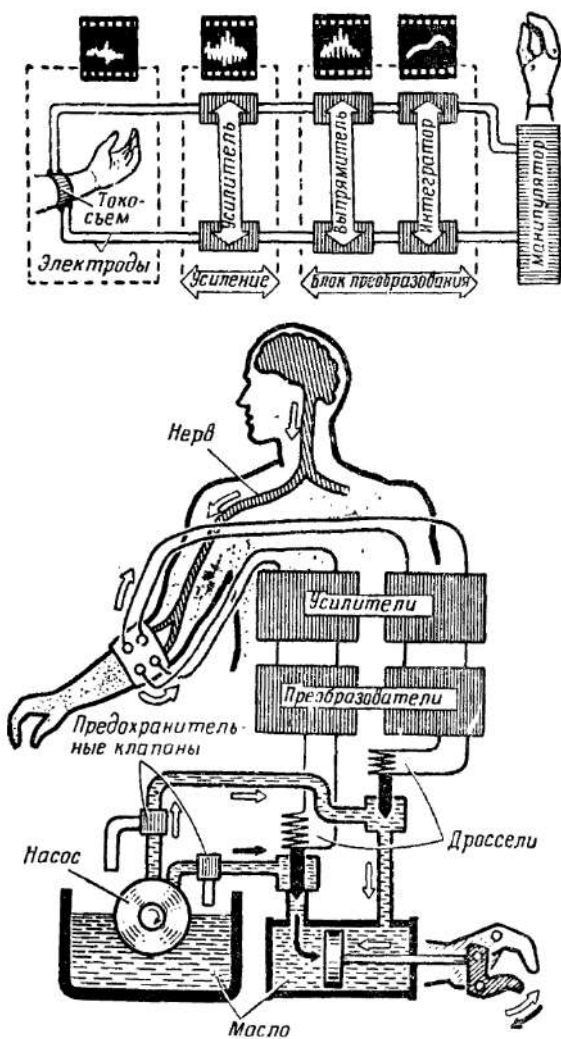


Рис. 4. Биоэлектрический манипулятор и его гидроэлектрический привод

Таким образом, биоэлектрический манипулятор представляет собой систему управления, в которой «программу» задает живой организм, а отрабатывает ее внешнее техническое устройство. Могут ли быть системы биоэлектрического управления иного рода? Да. Можно задавать программу в форме электрических импульсов с помощью технического устройства, а живой организм будет осуществлять эту программу. Такая система имеется, например, в аппарате для лечения электросном. Вырабатываемые генератором электрические импульсы воздействуют на мозг, вызывают торможение нервных клеток, в организме наступает состояние сна.

Возникает и такой вопрос: нельзя ли добиться, чтобы биоэлектрический манипулятор не только сжимал и разжимал искусственную руку, но и воспроизводил другие функции руки человека? Безусловно можно, но иногда технически целесообразно воспроизводить лишь определенные движения руки, не слишком усложняя конструкцию манипулятора.

Следует отметить, что искусственная рука может обеспечить усилие во много раз большее, чем рука человека. Этому не препятствует то, что биотоки слабы. Они ведь выполняют роль управляющего сигнала, а он может «командовать» неизмеримо более мощными источниками энергии.

Биоэлектрический манипулятор лишь первый шаг в развитии этой новой системы управления. Впереди широкая перспектива использования биотоков различных мышц, в частности сердечной мышцы, мышц, управляющих дыхательными движениями, и т. д. Уже создана в нашей стране система управления рентгеновским аппаратом за счет биотоков сердечной мышцы. Это дает возможность получать снимки сердца в любой момент его сокращения.

Ведутся исследования излучения радиоволн мышцами человеческого тела. В американской печати, например, сообщалось о наличии излучения на частоте 150 кгц и выше. Это излучение бывает, когда мышца напряжена и работает. Причем различные мышцы излучают по-разному, более мелкие сильнее, чем крупные. Особенно сильно излучением обладают будто бы мышцы мизинца. Форма всех этих излучений — острые пики.

Ученые стран, входящих в агрессивный блок НАТО, пытаются и биотоки использовать в первую очередь для создания военных устройств.

Французский журнал «Сьянс эви» в декабре 1961 г. писал об использовании биотоков в качестве усилителя мускульной энергии. Врачи Эллис и Шнейдермейер разработали систему, дающую возможность в шесть раз увеличивать электролинографический потенциал мышц. Воспринимая этот потенциал с помощью металлических дисков, прилегающих к коже в точке наибольшего прилива нервной энергии к кожному покрову, диски выделяют биотоки и дают возможность использовать их для питания маленького мотора.

Упор в заметке делается на возможности использования данного открытия в военных целях. «Сервосолдат» сможет один нести тяжелое снаряжение и передвигаться бегом гораздо быстрее, чем обычные люди. Такой солдат сможет приводить в движение и летательные аппараты на мускульной энергии.

Сейчас наука изучает возможности использовать для управления биотоки мозга. Это означало бы, что биотоки мозга сами командовали бы работой машины, технические устройства действовали бы по приказам человеческой мысли.

Изучение процессов в природе способно дать технике не только биоэлектрические средства управления на расстоянии, но и источники электроэнергии, основанные на использовании разложения и окисления органических веществ, приводящих к выработке электроэнергии. Известно, например, что в придонном слое океана образуется электричество, так как бы имеется гигантский топливный элемент. Принцип работы такого элемента воспроизведен на рис. 5.

Как видно из рисунка, топливный элемент состоит из двух секций, разделенных полупроницаемой перегородкой. Внутри секций — инертные катоды. Анодная секция содержит «топливо» — смесь морской воды с органическими веществами, а также катализатор — бактериальные клетки. В катодную секцию помещается морская вода с кислородом. При работе элемента, как и в придонном слое океана, происходит окисление топлива и выделяется энергия, которая и подается в виде электрического тока во внешнюю цепь.

Достоинства такого элемента — дешевизна, ибо в нем используются «бесплатные» продукты. Что касается времени работы, то оно может быть бесконечно большим, если в катодную секцию ввести живые водоросли с добавлением в воду неорганических солей, необходимых для их питания, и освещать элемент солнечным светом. Печать сообщает о заинтересованности в таких элементах военно-морского флота США.

В другом биохимическом источнике для ускорения процесса распада и окисления применяется иной вид бактерий, благодаря чему реакции ускоряются в миллион раз. Элемент имеет напряжение 0,5—1 в. В связи с тем что могут быть использованы бактерии сточных вод, в частности бактерии из кишечника человека, открывается теоретическая возможность создания систем с замкнутым циклом для космических снарядов. В США ведутся исследования в этом направлении.

Так изучение электрических явлений в природе обогащает электротехнику новым арсеналом средств.

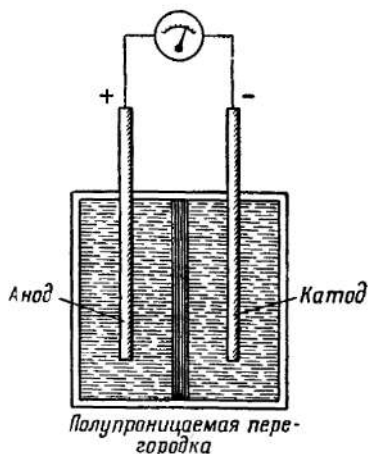


Рис. 5. Схема биохимического топливного элемента

ЛОКАЦИЯ И НАВИГАЦИЯ В ПРИРОДЕ И ТЕХНИКЕ

Большой интерес бионика проявляет к тому, как в природе живые организмы ориентируются в своем движении, определяют препятствия, безошибочно находят нужное направление в весьма длительных путешествиях. Немалую пользу конструкторам навигационных устройств принесло, например, детальное изучение некоторых органов ориентации насекомых в полете.

...Внимание естествоиспытателей издавна привлекали два придатка сзади крыльев у двукрылых насекомых,

имеющие форму палочки, соединенной с телом тонким черешком. Это жужжальца, которые в полете непрерывно вибрируют. Наружный конец каждого из них движется по дуговой траектории. Тенденция к такому движению сохраняется и при перемене направления полета. Это создает натяжение черешка, по которому мозг насекомого определяет изменение направления и дает команды мускулам, управляющим движением крыльев.

Принцип этого устройства был использован конструкторами при создании гироскопа нового типа. Известно, что гироскоп — незаменимый чувствительный элемент всех систем управления движущимися объектами, в том числе кораблями, самолетами, ракетами. По примеру жужжальца в его конструкции предусмотрели вибрирующие тонкие пластинки. Оказалось, что такой гироскоп имеет гораздо большую чувствительность, чем обычный. Но основное его достоинство — меньшая подверженность влиянию больших ускорений. Став «душой», например, такого прибора, как указатель виражей, он нашел применение на современных скоростных самолетах.

Вот еще пример успешного применения данных бионики. Именно ее данные позволили создать «небесный компас поляризованного света», то есть устройство, способное по расположению плоскости поляризации света определять местонахождение источника света. Сделан компас по образу и подобию глаз мухи или пчелы. Известно, что независимые элементы шаровидных глаз этих насекомых (омматидии) разделяются на восемь частей, расположенных звездочкой. Степень пропускания ими поляризованного света находится в зависимости от направления, с которого он приходит. Не случайно для глаз, например, пчелы разные участки неба будут иметь неодинаковую яркость. По этому признаку она определяет свое местоположение по отношению к солнцу даже тогда, когда оно скрыто облаками. Точно так же небесный компас поляризованного света может использоваться в кораблевождении для ориентации по положению светила независимо от погоды.

На основе действия омматидии создан за рубежом и еще один прибор. Известно, что омматидии дают несколько изображений предмета. Это помогает наблюдать за движущимся объектом, ибо он последовательно входит в поле зрения каждой омматидии. По этому свойству насекомое может определять скорость движения предмета.

Устройство глаза насекомого послужило прообразом нового прибора для мгновенного измерения скорости самолета. Прибор получился недорогим, небольшого размера. Он извещает наблюдателя о скорости самолета или любого другого тела, пересекающего его поле зрения.

Приведенные примеры показывают возможности бионики для совершенствования навигационной техники, но не дают никакого основания утверждать, что уже все процессы в природе познаны и осталось лишь собирать плоды. На самом деле у бионики очень много нерешенных проблем, в частности в изучении способов и устройств, позволяющих животным ориентироваться в различных условиях и особенно в период миграции.

Различные представители животного мира — журавли, летучие мыши, угри — преодолевают расстояния во много тысяч километров и всегда точно приходят к месту своего размножения. Даже такое малоподвижное существо, как черепаха, способно преодолевать большие расстояния, строго выдерживая нужное направление. Каждые три года морские черепахи, преодолев путь в пять с лишним тысяч километров, собираются в определенном месте для кладки яиц.

Специалисты высказали предположение, что миграция объясняется поисками теплых краев. Но оказалось, буреветник, например, совершает путь из Антарктики на Северный полюс. Так что одного этого объяснения недостаточно.

При более внимательном изучении процесса миграции заметили, что на полет птиц влияет, так сказать, «астрономическая обстановка». Это удалось установить в планетарии, где воспроизводилось движение звезд и велись наблюдения за ночным полетом малиновок. То, что в полете некоторые птицы ориентируются по звездам, может быть, объясняет и тот факт, что ночью они летают над облаками, на высоте многих тысяч метров.

Как осуществляется эта ориентировка птиц — сказать пока точно нельзя. Однако некоторые косвенные намеки на характер процессов уже есть. Установлено, что радиоволны, излучаемые передатчиками локаторов и связных станций, мешают «приборам» ориентировки птиц в полете выполнять свои функции. Значит, и система навигации птиц основана на использовании электромагнитных колебаний.

Известно, какое значение ныне приобретают астронавигационные системы в управлении ракетами, в самолето- и кораблевождении. Как было бы важно методами бионики объяснить эту способность животных, изучить и технически воспроизвести столь удивительный орган.

Знатоков современной техники радиолокации не может не заинтересовать такой факт. Два американских ученых решили исследовать вопрос о том, каким образом самцы бабочки «Малый ночной павлиний глаз» (*Saturnia pavonia*) отыскивают самку на расстоянии 10 км. Решено было заключить самку под стекло. Бабочки-самцы по-прежнему летели к самке. Ничего не дало и помещение самки за металлическую сетку. Только экран, не пропускающий инфракрасные лучи, как бы полностью изолировал бабочек разного пола друг от друга. Американские ученые смело заключили, что самцы имеют как бы «локатор инфракрасных лучей». Может быть, дальнейшие исследования уточнят этот первоначальный вывод. Однако несомненно, что столь малогабаритные устройства обнаружения объектов на расстояниях в десятки километров заслуживают самого пристального внимания.

Управление научных исследований военно-морского флота США проводит исследования «биологической навигационной системы» голубей. Ученые стремятся раскрыть секрет того, как голуби сориентируются над незнакомой местностью и находят дорогу к дому. Для наблюдения за этими птицами на всем протяжении их полета применяется совершенно новая система. Она основана на приеме сигналов миниатюрного радиопередатчика, укрепляемого на спине голубя.

Радиопередатчик работает в метровом диапазоне волн (частота 140 Мгц). Собран он исключительно на полупроводниках и весит 66,8 г. Источниками тока служат ртутные батареи, обеспечивающие 20 часов непрерывной работы. Антенна — выпускная, длиной 101,6 см. Чтобы она не запутывалась в хвостовых перьях, значительная часть ее одета в стекловолокно.

Вдоль предполагаемого маршрута полета голубя располагаются приемные станции для записи направления его движения. Приемники могут принимать сигналы от «радиофицированного» голубя с любого направления на расстояниях свыше 33 км. Осуществляется пеленгация голубя, в строго определенное время, и точки его нахождения

паносятся на карту. Во время одного полета голубя в районе Филадельфии наблюдение велось на протяжении 33 км.

Кроме направления полета решено следить за изменениями внешней среды и ответными реакциями организма голубя на них. Интересуют ученых и кровяное давление и дыхание голубя. В итоге они надеются раскрыть тайну биологической навигации и на этой основе создать малогабаритные системы навигации и обнаружения.

Исследования не ограничиваются голубями, намечается изучить «опыт» таких птиц, как альбатросы. Предполагается организовать также исследования передвижений бурых дельфинов, китов, акул, морских черепах, то есть таких животных, которые почти все время находятся вблизи водной поверхности, что облегчает слежение за ними.

Известно, что при объяснении принципа радиолокации обычно ссылаются на летучих мышей, которые легко различают препятствия в полете, излучая звуковые волны и принимая отраженные сигналы. Но оказалось, что не только принцип действия локационного аппарата мышей представляет интерес, но и его устройство и характеристики. Ученые установили сейчас, что этот аппарат обладает большей точностью, чем созданные человеком радио- и гидролокаторы. Оказалось, что летучие мыши одного из видов легко обнаруживают проволоку диаметром менее 0,3 мм, несмотря на то что она дает, безусловно, чрезвычайно слабый отраженный сигнал.

Характерно и то, что точность обнаружения препятствия достигается даже при наличии шума, интенсивность которого во много раз превосходит интенсивность принимаемого сигнала. Так, по данным английского ученого Л. Кея, эхолокационный аппарат летучих мышей успешно действует даже при отношении интенсивности сигнала к интенсивности шумового фона, равном 35 (в логарифмических единицах измерения — децибелах).

Любопытным оказывается и то, что у разных видов летучих мышей эхолокационные аппараты устроены по-разному и для ориентации используются различные сигналы. Обыкновенные насекомоядные мыши издают ультразвуки с частотной модуляцией. Их частота меняется в пределах от 90 до 40 кгц за время порядка нескольких миллисекунд (от 10 до 0,5 миллисекунды).

На рис. 6 показаны записанные на пленку разными методами сигналы, излучаемые насекомоядной мышью. Сигналы улавливались емкостным микрофоном и подавались на дискриминатор, то есть детектор частотно-модулированных колебаний. Выходное напряжение выпрям-



Рис. 6. Запись на пленку сигналов, излучаемых насекомоядной мышью

ленного тока при этом было прямо пропорционально частоте входных сигналов и не зависело от их амплитуды.

Как же действует «локатор» насекомоядной мыши? Она летает с открытой пастью, в результате поле излучаемых сигналов перекрывает угол 90° . Представление о направлении, по мнению специалистов, мышь получает за счет сравнения сигналов, принимаемых ушами, которые подняты во время полета, как приемные антенны. Подтверждением этого мнения служит то, что стоит вывести из строя одно ухо летучей мыши, как она совершенно теряет ориентировку.

В литературе отмечается, что ушная раковина летучей мыши устроена примерно так же, как и у человека, но диапазон принимаемых частот шире — от 30 гц до 100 кгц.

Сам процесс обнаружения объектов насекомоядной летучей мышью еще полностью не выяснен и изучается. Что касается объектов на удалениях до 1—1,2 м, то пред-

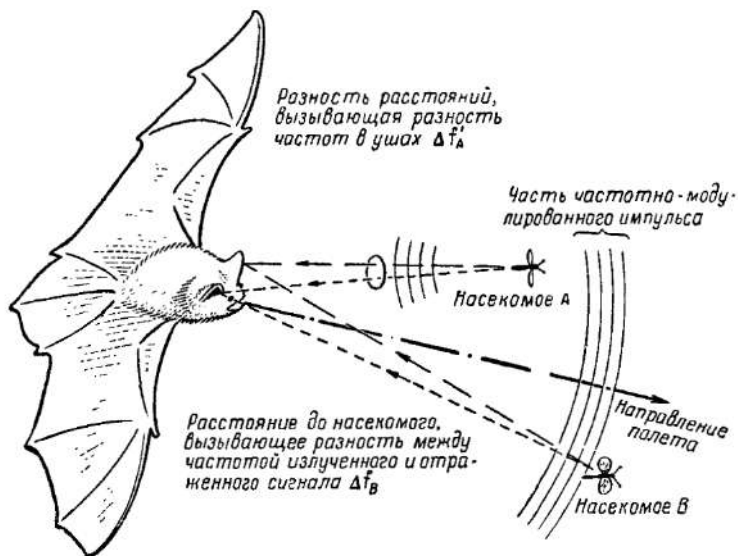


Рис. 7. Сложение излучаемых импульсов, модулированных по частоте, и отраженных сигналов и получение сигналов, пропорциональных расстоянию до объекта

полагается, что мышь может различать сигналы от нескольких из них. Как показано на рис. 7, сложение излучаемых импульсов, модулированных по частоте, и отраженных сигналов дает сигналы разностной частоты Δf , которая будет пропорциональна расстоянию до объекта. Длительность сигналов разностной частоты также функция расстояния.

Предполагалось, что на расстояниях, больших 1,2 м, точность обнаружения объектов мышью должна была бы убывать. Однако поведение мышей не подтверждает этого, точность остается неизменной.

Для объяснения этого явления выдвигается следующая гипотеза. Мышь может излучать колебания, которые не обнаруживаются имеющейся аппаратурой. Или для измерения направления на объект используется метод частотной модуляции. Объекты справа и слева создают в

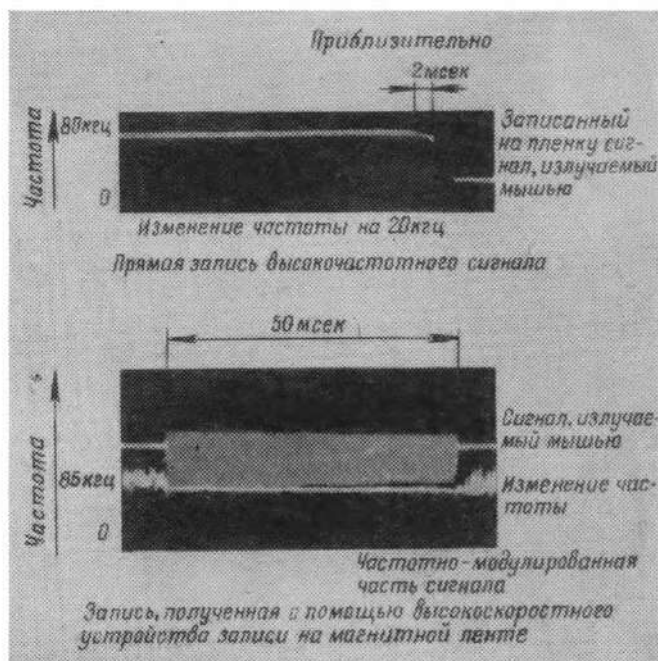


Рис. 8. Запись на магнитной ленте сигналов, излучаемых мышами-подковоносами

разных ушах различные частоты биений. Разность частот биений пропорциональна углу и не зависит от расстояния.

Другой вид летучих мышей — подковоносы — используют для ориентации чистые тона частотой порядка 80 кГц в виде импульсов постоянной амплитуды длительностью в среднем около 60 миллисекунд. С помощью высокоскоростного записывающего аппарата на магнитной ленте удалось получить характеристики сигналов, излу-

чаемых мышами-подковоносами. Как видно из рис. 8, в конце импульса заметно изменение частоты. Она убывает по линейному закону со скоростью 10—20 кгц/сек в течение 2 миллисекунд. Это изменение частоты напоминает сигналы обыкновенных насекомоядных мышей.

Внешнее поведение в полете мышей этих двух видов различно. У обыкновенных — прямые неподвижные уши, у подковоносов — непрерывные движения головой и вибрирование ушами. Характерно, что вывод из строя одного уха не мешает подковоносу ориентироваться. Зато повреждение мускулов, управляющих движением ушей, лишает его способности летать.

Предполагается, что с помощью движения ушей мышь модулирует принимаемые отраженные сигналы и сравнивает их с излучаемыми. Образуются биения, синхронные с движением ушей даже в состоянии покоя и в случае неподвижных объектов. В полете же, возможно, мышь определяет расстояния до объектов с помощью эффекта Доплера. Этот эффект состоит в изменении частоты, например звука, в зависимости от движения (сближения или удаления) источника по отношению к наблюдателю.

Вместе с тем высказывается предположение, что в процессах работы «локаторов» мышей обоих видов есть большое сходство. На этот вывод наталкивает наличие участка с переменной частотой в конце импульса, излучаемого мышами-подковоносами.

Мы не для того приводим подробности устройства и процесса действия «локаторов» этих живых существ, чтобы стать на одну какую-то точку зрения и поставить все точки над «и». Пример еще раз говорит о полезности изучения эхолокационных устройств живого мира. Это важно не только для разработки новых принципов радиолокации, совершенствования конструкций радиолокаторов, но и обеспечения их работы в условиях помех.

В Массачусетском технологическом институте (США) исследуются методы «истолкования данных», используемые летучими мышами. Специалистов интересует, как эти животные, покрытые мехом, выделяют среди писков и пронзительных выкриков других летучих мышей свои отраженные сигналы. Для исследований сделана специальная сложная аппаратура — ультразвуковые частотомеры, микрофоны и т. д. Считают, что подобное изучение может

оказаться полезным при разработке защиты радиолокационных систем от помех.

Для гидролокации оказываются очень ценными исследования гидролокационного аппарата бурых дельфинов (рис. 9). Ученые установили, что дельфины излучают звуки двух родов. Для связи между собой дельфины издают

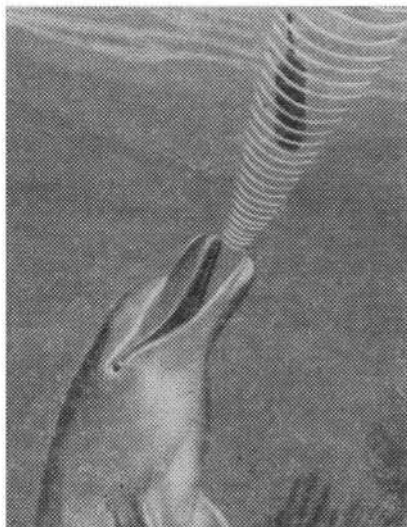


Рис. 9. Схематическое изображение процесса изучения гидролокационного аппарата дельфина

серию щелкающих звуков в диапазоне частот от 10 до 400 гц. Звуки, излучаемые дельфинами с целью обнаружения различных объектов в морской воде, лежат в диапазоне от 750 до 300 000 гц и издаются различными частями тела дельфинов.

Установлено, что дельфины реагируют на звуки до 80 000 гц. Отмечается также, что гидролокационный аппарат дельфинов превосходит существующие гидролокаторы не только по точности, но и по дальности действия. И здесь, как и во многих других случаях, нам предстоит еще «догонять» природу.

Уже первые исследования показали, что гидролокационный аппарат позволяет дельфину не только обнаруживать рыб, служащих ему пищей, но и различать их породу на дальности 3 км. При этом степень правильного обнаружения составляет 98—100 процентов. Во время экспериментов дельфин ни разу не пытался ловить рыб, отделенных от него стеклянным барьером, и в 98 случаях из 100 проплывал через открытое отверстие в сетке, а не через отверстие, закрытое прозрачной пластиной.

Кроме дельфинов гидролокационный аппарат имеют морские свинки. Пользуясь этим аппаратом, они отыскивают себе добычу. Даже в мутной воде морские свинки

обнаруживают кусочки пищи размером 2,5 мм на дальности 15 м. Гидролокатор морской свинки работает на частоте 196 кгц.

В одном из университетов США тщательно обследуется способность самонаведения акул на жертву. Она основана на восприятии звуков и вибраций. Механизм самонаведения акул предполагается приспособить для создания управляемого оружия.

Ученые предполагают, что тропические рыбы способны вырабатывать электромагнитные волны, излучать их и использовать для обнаружения любых предметов. Такой рыбой, в частности, является мормирус-нильский длиннорыл, или водяной слон. У него имеется расположенный в хвосте своеобразный «генератор» низкочастотных электромагнитных колебаний. Излучаемая длиннорылом электромагнитная энергия, распространяясь в пространстве, отражается от препятствий. Отраженные сигналы улавливаются особыми органами рыбы, расположенными в основании спинного плавника. Эта рыба обнаруживает наличие сети, «видит» опускаемую в воду дробинку, «чувствует» приближение магнита. Изучение этого «локатора», возможно, натолкнет ученых на новые факты, связанные с улавливанием и использованием электромагнитных излучений, свойственных в той или иной степени всем животным, и обогатит науку и технику новыми принципами конструирования аппаратуры, в частности для локации в воде.

САМОНАСТРАИВАЮЩИЕСЯ СИСТЕМЫ В БИОЛОГИИ И АВТОМАТИКЕ

Во введении к книге мы говорили о свойстве живых организмов сохранять определенное состояние при значительном изменении внешних условий. Речь шла о регулировании температуры тела, давления крови и т. п. Свойство сохранять определенные характеристики при изменении внешних условий называют гомеостазисом, а системы регуляции в организме — гомеостатическими.

Гомеостатические системы при большом разнообразии внешних возмущений способны поддерживать неизменное значение регулируемой величины. При приспособлении к изменяющимся условиям происходят местные изменения, не нарушающие целостности всей системы. В по-

давляющем большинстве своем в организме имеется настоящий ансамбль взаимосвязанных систем: так много величин они одновременно поддерживают в определенных пределах.

От гомеостатических систем в живом организме наука сейчас делает шаг к самонастраивающимся системам управления в технике. Прежде чем их рассматривать подробно, еще раз вернемся к более простым системам автоматического управления.

Весьма распространены в технике системы автоматического управления с обратной связью. Как это уже отмечалось выше, на выходе объекта автоматического управления происходит вычитание из выходной регулируемой величины заданного ее значения. По величине отклонения регулятор вырабатывает управляющий сигнал, сводящий отклонение к нулю.

Однако для управления более сложными и менее изученными объектами требовались системы, способные не только устранять известное отклонение регулируемой величины от заданной, но и решать более сложные задачи, автоматически отыскивать такие изменения самой системы, чтобы достичь необходимого результата.

Самонастройка в принципе означает способность системы решать задачу регулирования при различных возмущающих воздействиях, часто даже не предвиденных конструктором. Достигается она с помощью устройств, могущих непрерывно следить за характеристиками системы и так воздействовать на ее параметры, чтобы приближать характеристики к оптимальным (наивыгодным, наилучшим).

Рассмотрим для начала наиболее простые из самонастраивающихся систем — системы экстремального управления. В них требуется найти и поддерживать такое значение регулируемой величины, при котором достигается наименьшее или наибольшее из возможных значений (оно и называется экстремальным) определенной характеристики режима. К экстремальному значению можно отнести минимум расхода энергии, топлива, максимум коэффициента полезного действия и т. д.

Для того чтобы лучше представить себе принцип работы самонастраивающейся системы, сошлемся на пример регулирования подачи топлива в двигатели летательного аппарата. Управляющей системе поставлена цель:

обеспечить наиболее экономичный полет. Как известно, это может быть достигнуто на каждой высоте за счет установления оптимального режима: определенной скорости, числа оборотов двигателя, удельного расхода горючего. С изменением высоты эти характеристики меняются. Самонастраивающаяся система, используя данные от контрольных приборов, должна автоматически определить оптимальные значения регулируемых параметров, которые бы обеспечили наиболее экономичный полет.

Более сложна задача поддержания наивыгоднейшего режима в тех случаях, когда некоторые или даже все условия работы установки не контролируются и наперед неизвестны не только степени, но и направления влияния этих условий на эффективность режима. В этом случае используются системы автоматического поиска.

Осуществляя поиск, управляющее устройство самонастраивающейся системы анализирует результаты проб, попыток изменить структуру системы и ее отдельных параметров. Для этого в состав систем вводятся вычислительные устройства, способные «запоминать» данные, выполнять логические операции. Получается так, что система получает возможность принимать «логические» решения, приспосабливаться к изменяющейся внешней обстановке.

Система автоматического поиска имеет своих предшественников в природе. Можно в связи с этим указать на процесс развития вида, так называемый механизм естественного отбора. В качестве «проб» здесь выступают различные формы живых организмов, образующиеся в природе, из которых выживают наиболее приспособленные. По наследству потомству передаются те черты, которые обеспечивают большую жизнеспособность. Варьируя миллиарды организмов, природа образовала высоко развитые виды живых существ.

Аналогично осуществляется поиск в автоматическом устройстве, которое, пробуя различные варианты, изменяет характеристики и даже структуру управляющего устройства, с тем чтобы система, которую хотят усовершенствовать, приобрела наивыгоднейшие свойства.

Каковы же принципы поиска экстремальных значений в самонастраивающихся системах? Их можно искать с помощью различных перемещений регулирующего органа. Существует, например, метод использования неболь-

ших перемещений (колебаний) регулирующего органа в одну и другую сторону около среднего его положения. Применяя специальные устройства, удастся проанализировать результаты и определить направление движения регулирующего органа.

На рис. 10 показана зависимость параметра системы ψ (например, коэффициента полезного действия) от

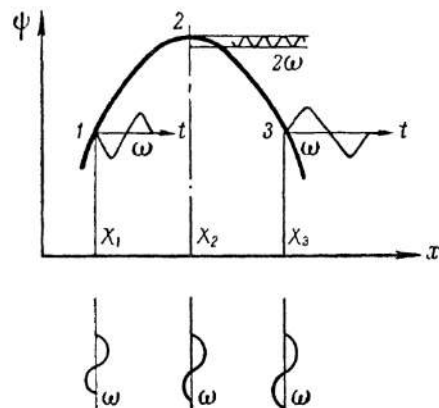


Рис. 10. Автоматический поиск с помощью колебаний синусоидальной формы с частотой ω . Воздействие таких колебаний приводит к выходным колебаниям показателя ψ , изображенным в точках 1, 2, 3

перемещения регулирующего органа X . Положение регулирующего органа меняется под воздействием возмущений синусоидальной формы с частотой ω . Пусть при первом перемещении регулирующего органа он попал в точку 1 графика. При этом на выход дискриминатора (различитель фазы и частоты) поступит синусоидальное колебание с частотой ω , изображенное в точке 1. Если при втором перемещении регулирующего органа попадет в точку 2, то на выходе появится сигнал малой амплитуды и удвоенной частоты. И наконец, при попадании в точку 3 появится колебание частоты ω , но в противофазе с колебанием в точке 1. Дискриминатор может выделить максимум, имея приведенную в табл. 1 программу, или «логику», работы. Ее обычно именуют алгоритмом управляющего устройства.

Чтобы реализовать такую «логику» работы схемы, нужно иметь фазочувствительный выпрямитель (дискриминатор), команды которого приводили бы в действие электродвигатель, а он в свою очередь открывал бы клапаны, перемещал заслонки или другие какие-либо регулирующие устройства.

Другой путь поисков наивыгоднейших характеристик состоит в использовании свойства запоминания. Выше

Алгоритм управляющего устройства

Показания дискриминатора	Как перемещать регулирующий орган
Выходной высокочастотный сигнал находится в фазе с входным	Увеличивать значение исходной координаты (например, больше открывать клапан, заслонку и т. д.)
Выходной высокочастотный сигнал находится в противофазе с входным	Уменьшать значение исходной координаты
Малая амплитуда и удвоенная частота выходного высокочастотного сигнала в сравнении с входным	Прекратить перемещение

рассматривались процессы накопления и сохранения информации, происходящие по аналогии с использованием информации мозгом, его памятью. В данном случае может быть использована схема, показанная на рис. 11. К электродам сетка-катод радиолампы через диод подводится электрическое напряжение (показатель Ψ). Пусть при этом величина ψ меняется, как показано на рис. 10, от точки 1 к точкам 2 и 3. Когда ψ достигнет максимального значения, запоминающий конденсатор C зарядится, «за-

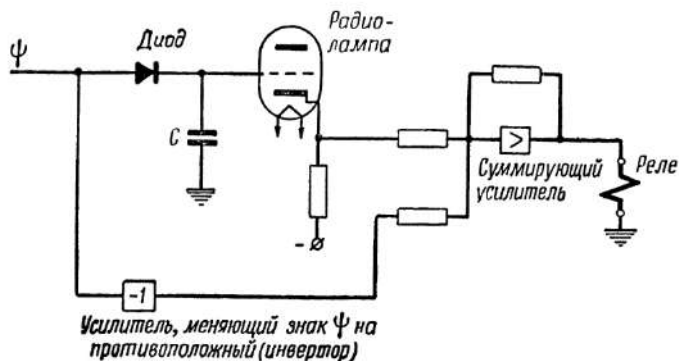


Рис. 11. Схема управляющего устройства, основанного на принципе запоминания наибольшего показателя ψ

помнит» это значение. Когда напряжение начнет уменьшаться, диод запирается. Суммирующий усилитель, сравнивающий напряжения в цепи катода лампы и инвертора, дает команду реле. Оно срабатывает и заставляет двигатель, а за ним и регулирующий орган двигаться в обратную сторону. Опять будет пройден максимум, и как только величина ψ начнет падать, снова реле заставит двигаться регулирующий орган обратно. Таким образом, в системе будут происходить колебания вокруг наи-

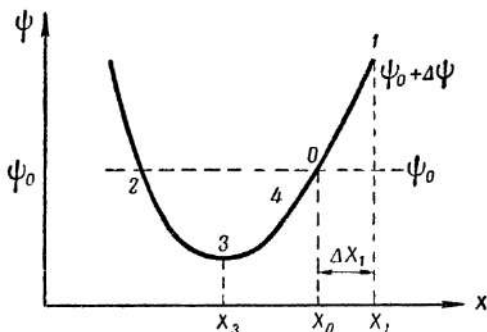


Рис. 12. График зависимости показателя системы ψ от перемещения регулирующего органа X при циклическом поиске в системе шагового типа

большого значения и среднее положение регулирующего органа будет соответствовать этому значению.

С запоминанием связан и циклический поиск в системах шагового типа. В этом случае приходится запоминать исходную величину выходного сигнала ψ , изменения положения регулирующего органа ΔX , новое значение выходной величины $\psi + \Delta\psi$. На графике рис. 12 показана зависимость показателя системы ψ от перемещения регулирующего органа X . Пусть исходное положение регулирующего органа в точке O . Делается пробный шаг ΔX . При перемещении в точку 1 показатель системы возрастает, становится $\psi + \Delta\psi$. При исходном положении в точке 2 значение ψ при пробном шаге в точку 3 уменьшается. По знаку $\Delta\psi$ можно определить направление движения регулирующего органа. Метод такого поиска называется циклическим потому, что шаг ΔX задается специальным коммутатором циклически через равные

промежутки времени, а направление этого шага и величина неизменны. Алгоритм («логику») работы управляющего устройства можно представить в виде табл. 2.

Таблица 2

Алгоритм управляющего устройства в системе шагового типа

Результат пробного шага	Требуемое действие
В направлении увеличения положения регулирующего органа приводит к увеличению значений величины ψ	Надо уменьшать исходное значение положения регулирующего органа
В направлении увеличения положения регулирующего органа приводит к уменьшению значений величины ψ	Увеличивать исходное значение положения регулирующего органа
Ни в направлении увеличения положения регулирующего органа, ни в направлении уменьшения значение ψ не меняется	Прекратить перемещение

Для реализации изложенной выше «логики» может быть применена схема, содержащая объект регулирования, тактовый генератор и устройство управления. В свою очередь устройство управления имеет запоминающее устройство, двигатель, перемещающий управляющий орган, и устройство для определения, куда дальше перемещать этот орган для поиска наивыгоднейшего значения (рис. 13). Схема начинает работу при включении по команде тактового генератора контактов K_1 и K_2 . Делается пробный шаг ΔX , изменение выходной величины ($\psi + \Delta\psi$) запоминается. Потом замыкаются ключи K_3 и K_4 . На выходе будет выделена величина отклонения выходной величины от заданной. Это отклонение подается в двигатель, который перемещает заслонку или клапан так, чтобы приближаться к наивыгоднейшему положению. Когда такое положение будет пройдено, к двигателю подводится отрицательное напряжение, и он начнет вращаться в обратную сторону. Как видно из схемы, такое автоматическое устройство представляет собой не что иное, как специализированное вычислительное устройство. Если к

обычной схеме автоматического управления добавить специализированное вычислительное устройство A и дополнительное вычислительное устройство B , то можно решать, например, задачу подбора такого режима, при котором объект управления и регуляторы потребляли бы минимум топлива и электроэнергии. Такие самонастраивающиеся системы (рис. 14) могут быть весьма ценны не только для поддержания движения, например ракеты,

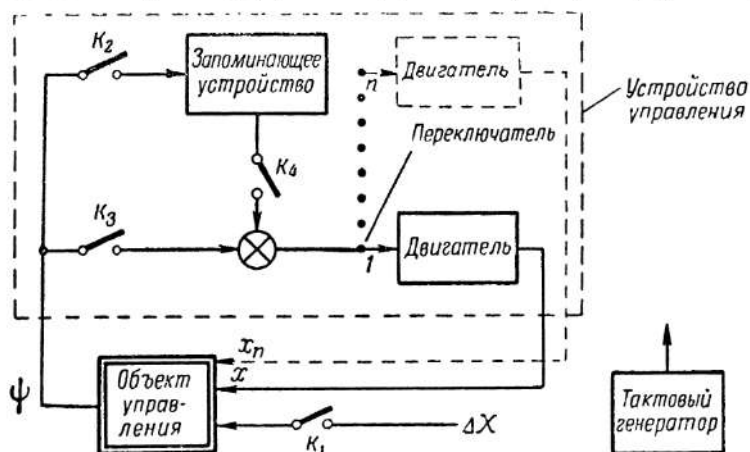


Рис. 13. Принципиальная схема управляющего устройства шагового типа

по нужной траектории, но и перехода ее на другие траектории, если это необходимо с точки зрения экономного расходования топливных и энергетических ресурсов.

Дополнительное вычислительное устройство B суммирует данные о количестве потребляемого топлива или энергии и определяет среднее значение за определенный промежуток времени. Это значение подводится к устройству A , называемому оптимизатором, которое осуществляет автоматический поиск наивыгоднейшего (оптимального) режима, при котором расходовалось бы минимум энергии.

Экстремальные системы автоматического управления могут широко применяться в военной и военно-морской технике. Эти системы способны помочь, например, сводить к минимуму погрешности или ошибки систем наведе-

дения ракет, целеуказания, решения задачи встречи снаряда с целью, обеспечивать быстрое приведение в действие современного ракетно-ядерного оружия. Подобные системы могут поддерживать максимальным коэффициент полезного действия энергетических установок кораблей и силовых установок самолетов, обеспечивать режим для получения максимальной дальности полета, плавания и т. п.

Примером самоприспосабливающейся системы является автоматическая система для опознавания и выделения

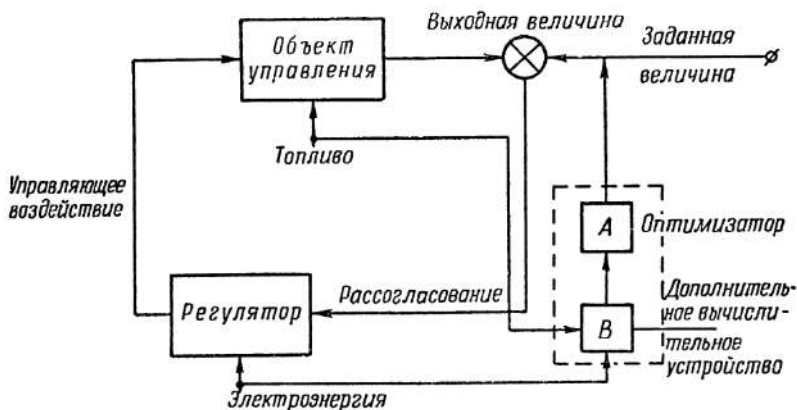


Рис. 14. Схема самонастраивающейся системы автоматического поиска наилучшего режима работы

импульсных сигналов на фоне шумов (рис. 15). В ней имеется самоприспосабливающийся фильтр, с помощью которого производится настройка системы на форму входящего сигнала.

Схема фильтра включает запоминающее устройство, схему кратковременного накопления и сравнивающее устройство. Накопление данных о форме кривой входного сигнала при его приеме происходит в запоминающем устройстве. В специальном устройстве сравниваются данные со входа фильтра и выхода схемы кратковременного накопления. Когда на входе появляется серия сигналов одинаковой формы, она фиксируется в запоминающем устройстве. Затем из всех хаотически появляющихся на входе фильтров сигналов будут выделяться и пропускаться импульсы с формой кривой, которую «запомнил» фильтр.

Сравнивающее устройство обнаруживает повторяемость формы импульса, чтобы точно воспроизвести эту форму в запоминающем устройстве.

С пропаданием избранного сигнала система приходит в равновесие до появления нового сигнала, форма которого повторяется. Происходит восстановление сигналов, накапливаемых в запоминающем устройстве.

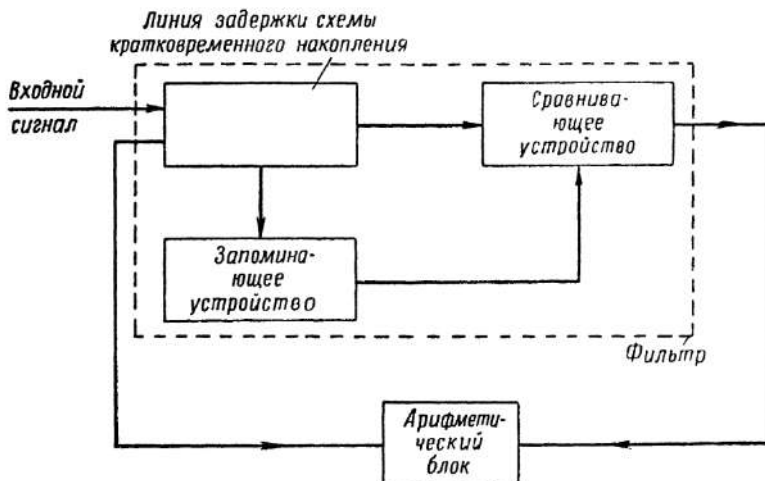


Рис. 15. Блок-схема устройства автоматического опознавания сигналов

Как же происходит сравнение формы пришедшего сигнала и того, который «помнит» фильтр? Это сравнение осуществляется в нескольких различных точках, размещенных по огибающей импульса. Число таких точек называется «числом измерений» системы.

На рис. 16 показана блок-схема экспериментальной системы с десятью измерениями, предложенной одной из зарубежных фирм. Линия задержки, которая играет роль системы кратковременного накопления, имеет десять отводов. Запоминающее устройство содержит десять конденсаторов, зашунтированных сопротивлениями. В корреляторе соответственно предусмотрено десять умножителей.

Напряжения с участка линии задержки и ячейки запоминания поступают в умножитель, дающий на выходе

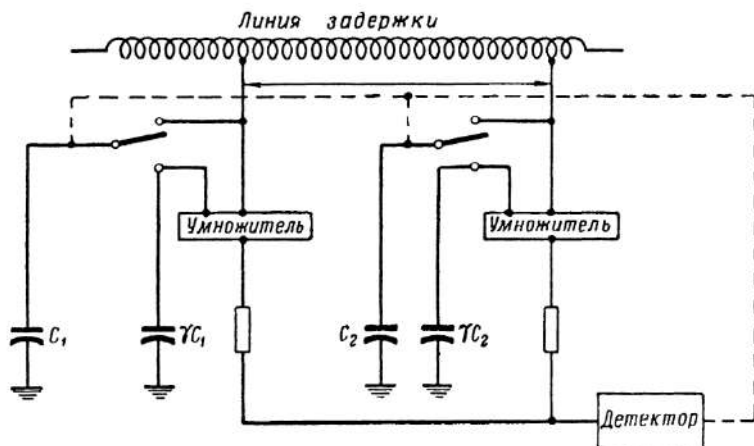


Рис. 16. Блок-схема экспериментальной системы с десятью измерениями

произведение этих двух напряжений. Сигналы от всех умножителей складываются и суммарный сигнал подается на детектор. Он-то и выявляет, насколько идентичны формы сигналов. Достигается это сравнением суммарного сигнала с тем, который «помнит» фильтр, так называемым опорным сигналом. Если первый равен второму или больше его, детектор отпирает арифметический блок системы обнаружения. С помощью десяти дополнительных конденсаторов «копированный» сигнал усиливается. Это означает, что в начале процесса сравнения схема выдает в сравнивающее устройство более точный фиксированный сигнал. Если на вход сигнал поступил не полностью, а есть всего одна его составляющая, все равно система начинает «приспосабливаться» к нему. Стоит сигналу пропасть, как опорный сигнал падает до нуля. При появлении нового сигнала система готова к действию. Значит, она способна «расшифровывать» кодированные сигналы с периодически меняющимися кодами. Для сигналов с более сложной формой нужно большее число измерений.

Самонастраивающиеся системы широко используются за рубежом при разработке автопилотов для самолетов и ракет, а также при проектировании систем автоматического управления для ракетопланов и космических кораблей.

Известно, что летательный аппарат оказывается в самых различных условиях и его характеристики существенно меняются в зависимости от изменения веса и конфигурации, скорости, плотности атмосферы, маневра цели и типа траектории. Так, самонастраивающаяся система, используемая для автопилота, должна, исходя из условий полета, изменять свои параметры так, чтобы, несмотря на эти изменения, сохранить требуемое качество работы. Возьмем, к примеру, такой показатель окружающих условий, как температура. В полете придется измерять температуру тех участков космического корабля, которые наиболее подвержены нагреванию, например при входе в плотные слои атмосферы. По результатам этих измерений система должна так корректировать траекторию, чтобы корабль не попал в области, где его ждет чрезмерный нагрев.

Чтобы лучше понять принцип самонастраивающегося регулирования на самолете, можно сослаться на действия летчика в полете. Покачивая ручку управления, он слегка возмущает полет самолета, что позволяет ему чувствовать свойства машины и достигать оптимального (наилучшего) управления, несмотря на изменение свойств самолета при наборе высоты или изменении скорости полета.

Рассмотрим один из образцов самонастраивающихся автопилотов, примененных, в частности, на американском истребителе (рис. 17). Главная часть автопилота — мультивибратор — генератор электрических колебаний, форма которых отлична от синусоидальной. Он выполняет функции быстродействующего реле. Если самолет сохраняет заданное положение, мультивибратор, переключаясь в одно из двух устойчивых состояний, вырабатывает короткие электрические импульсы, противоположной полярности и равные по мощности. Частота их составляет от 4 до 6 гц. Эти импульсы подводятся к рулевой машинке, и она, естественно, совершает колебания около нейтрального положения. Среднее положение руля остается постоянным, хотя он сам и перемещается на $0,1^\circ$ на частоте импульсов. Самолет также имеет установившиеся колебания, совершенно незаметные для летчика.

С изменением положения самолета сигнал соответствующего гироскопа заставит мультивибратор задер-

живаться в одном устойчивом положении дольше, чем в другом. Значит, импульсы одной полярности будут действовать на рулевую машинку более продолжительный период, чем импульсы противоположной полярности. Будет соответствующим образом повернут руль, и самолет возвратится в заданное положение.

А для чего же идеальная модель? Сигнал рассогласования поступает на мультивибратор не только от гироскопа

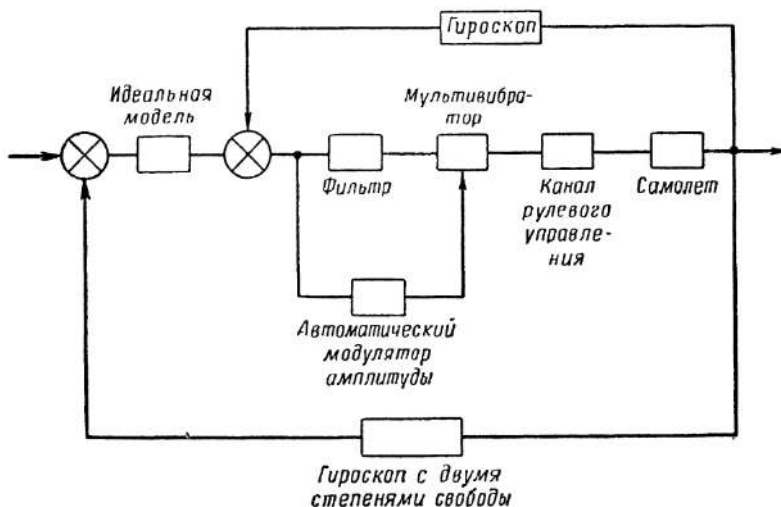


Рис. 17. Схема самонастраивающегося автопилота

скопа, но и от этой модели. Она представляет собой нечто вроде фильтра и имитирует поведение идеального самолета в ответ на те или иные возмущения. Значит, схема с этой моделью «следит», как возвращается в первоначальное положение реальный самолет. Если он ведет себя подобно идеальному самолету, то сигнала от модели не будет. Если есть разница, например, между угловыми скоростями реального самолета и идеальной модели, то мультивибратор получит соответствующий сигнал и заставит привод изменить среднее положение рулей.

А что делает автоматический модулятор амплитуды? Он непрерывно контролирует эффективность рулей самолета и автоматически компенсирует влияние высоты и скорости полета на их эффективность. Известно, что для

разных самолетов эффективность рулей по-разному уменьшается с возрастанием скорости, высоты и уменьшением плотности воздуха. Например, этот автоматический модулятор так изменяет величину отклонения рулей (амплитуду), чтобы влияние высоты не сказывалось на их эффективности. При этом он справляется со своей задачей, даже не «зная» заранее конкретных характеристик данного самолета.

Самонастраивающийся автопилот, по мнению зарубежных специалистов, имеет много преимуществ перед обычным. Дело не только в том, что благодаря его применению удастся ускорить разработку автоматического управления для новых типов самолетов и ракет и резко уменьшить летные испытания, которые требуются для согласования характеристик обычной системы управления и нового самолета или снаряда. Но дело и в том, что самонастраивающийся автопилот более прост и надежен. Его габариты и вес на 50 процентов меньше, а надежность вдвое выше, чем у обычного.

При разработке разных видов и систем оружия за рубежом создаются и испытываются их физические быстродействующие модели. В такую модель «вводятся» неисправности, характерные для реальных объектов. Специальная система производит поиск решения, то есть перебирает с огромной скоростью возможные способы устранения вредных влияний, неисправностей для получения нужного режима. Она отбирает наиболее приемлемое решение и выдает его для применения в реальном объекте.

Новым направлением в использовании самонастраивающихся систем является создание автоматов-контролеров в авиации и ракетной технике. Они предназначены для автоматизации процессов проверки всех видов сложнейшего оборудования самолета и ракеты, включая радиолокационную и навигационную аппаратуру, гидравлические и пневматические устройства, средства наведения. Конструкторы электронных поверочных устройств, как и при создании других автоматов, начали с анализа действий человека, производящего контроль за состоянием самолета или снаряда.

Что же делает специалист по проверке техники? Он, помня требования инструкции по эксплуатации, переводит последовательно переключатели в рабочее положение

ние, снимает показания приборов и сверяет их с заданными. В случае расхождения данных он фиксирует неисправность и должен решить, что нужно сделать, чтобы привести технику в исправное состояние. Он проверяет все элементы и устанавливает, какое сопротивление, конденсатор или лампа является виновником ненормальной работы электрической цепи.

Выполнение тех же функций может быть возложено на автомат. За рубежом создано, например, автоматическое устройство, которое, руководствуясь программой, записанной на ленте, производит переключения в проверяемой аппаратуре и сверяет показания приборов с требуемыми по инструкции. После этого выдается сигнал решения, указывающий, находится ли испытываемый параметр в допустимых пределах. Если включаемой аппаратуре нужно продолжительное время для разогрева, автомат включит ее и возвратится к ней тогда, когда она войдет в рабочий режим.

Для поисков неисправного элемента автомат следует определенной «логике». Он производит комбинацию нескольких измерений. Для этого в автомате предусматривается элемент «памяти». Он «запоминает» одно или ряд промежуточных решений, сравнивает их, чтобы найти причину неисправности.

Созданная система проверки не рассчитана на обнаружение отдельного неисправного сопротивления или лампы. Эта система обнаруживает неисправность в пределах до мелкого блока, который легко заменить в условиях обычного аэродрома. Как только неисправность обнаружена, автомат выбирает один из имеющихся у него 500 микрофильмов и проектирует его на экран, где даются советы по ремонту аппаратуры. Одновременно автомат выбирает специальную карточку и выдает ее оператору. В фильме и карточке указываются вышедший из строя элемент, время, необходимое для устранения неисправности, приборы и инструмент, которые надо использовать, что и как делать и т. д. Таким образом, автоматическое быстродействующее устройство может не только найти неисправность, но и дать специалистам сведения, которые иначе пришлось бы искать в различных инструкциях, описаниях и схемах.

В настоящее время, по данным зарубежной прессы, разработаны электронные проверочные автоматы как для

конкретных образцов оборудования, так и универсальные. Существует, например, автомат для обнаружения неисправностей в весьма сложной бомбардировочно-навигационной системе. Созданы установки для проверки правильности работы систем наведения управляемых снарядов.

О производительности универсальной системы можно судить по работе автомата, предназначенного для проверки 1200 различных электросхем на самолетах. Проверку каждой такой схемы он осуществляет менее чем за одну минуту.

Другая автоматическая проверочная установка создана для испытаний радиоэлектронного оборудования бомбардировщика американских военно-морских сил. Сообщая об этой установке, журнал «Авиэйшн уик» указывает, что она за четыре часа позволяет проверить весь комплекс оборудования бомбардировщика, включая навигационные приборы бомбометания, средства связи и радиолокации, системы опознавания и управления полетом, радиолокационный высотомер, счетно-решающие устройства и источники питания. Указывается, что с помощью обычных средств такая проверка требовала при большом числе обслуживающего персонала не менее 35 часов.

Установка состоит из трех блоков, размещенных на тележках. Основной блок включает программирующее устройство, систему самопроверки установки, прекращающую ее работу при возникновении внутренней неисправности, приборы измерения различных характеристик, индикаторные и записывающие устройства. В других двух блоках содержатся генераторы, имитирующие сигналы, которые возникают в цепях радиоэлектронной аппаратуры самолета в полете.

Разработаны универсальные системы для автоматической проверки готовности управляемых снарядов к пуску. Блок-схема такой системы показана на рис. 18.

Как же работает эта система? Проверка происходит по заранее составленной программе, в соответствии с которой из программного регистра сигналы поступают в преобразователь. Оттуда в виде импульсов они подводятся к испытываемому объекту. Сигналы от генераторов возбуждения включают проверяемые цепи. Ответные сигналы попадают в преобразователь обратного сигнала и

оттуда в виде импульсов в программный регистр, где сравниваются с заложенными в запоминающем устройстве значениями. Результаты сравнения подаются в индикатор и телетайп. Они и «сообщают» оператору о результатах проверки. Если получен сигнал «не годен»,

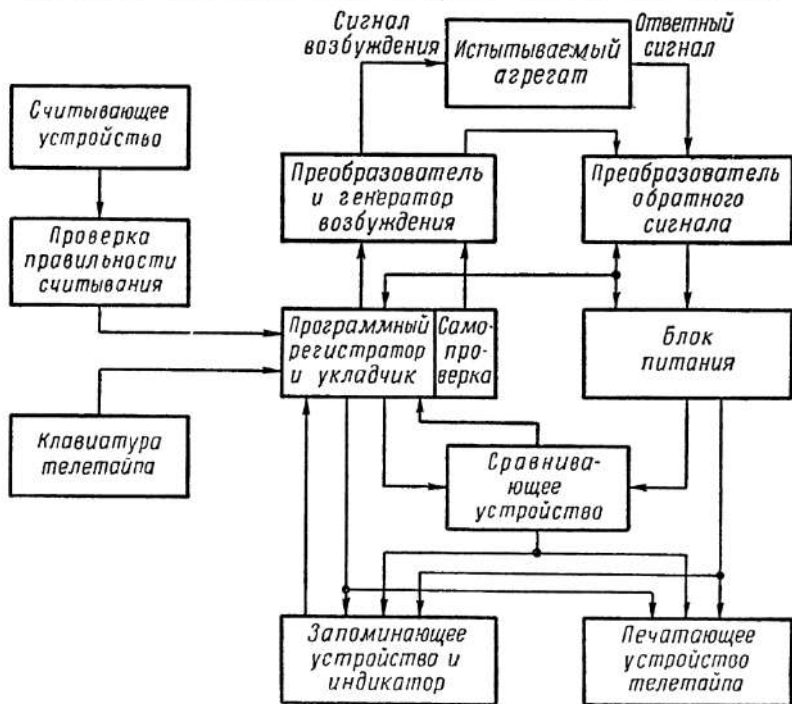


Рис. 18. Блок-схема обобщенной системы автоматической проверки

испытание автоматически прекращается. Начинается устранение неисправностей.

В одном из образцов проверочной аппаратуры программа испытаний записана на магнитной ленте. Ввод сигналов осуществляется скоростным устройством, воспринимающим с магнитной ленты 400 сигналов в секунду. Запоминающее устройство выполнено в виде магнитного барабана и имеет емкость 500 000 единиц информации. Применен указатель надежности результата проверки, который в виде двузначного числа (от 0 до

98) показывает, насколько допустимо отклонение измерения от допустимой величины. Данные проверки выдаются визуально, на перфорированной ленте или в виде таблиц. Применение автоматической системы позволяет проводить проверку за одну минуту, на что обычно требовалось несколько часов.

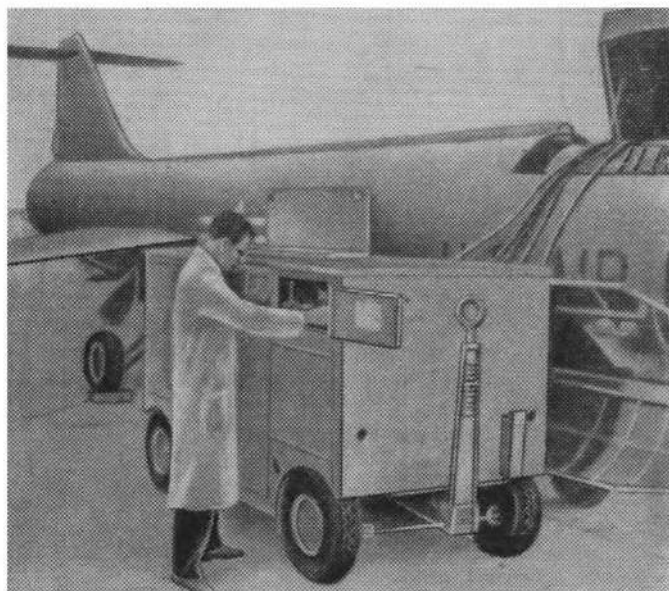


Рис. 19. Автоматическая испытательная станция для авиации, размещенная в прицепе

Быстродействующие автоматические контрольные устройства проверяют все большее количество разнообразной авиационной и ракетной техники. Создается, например, аппаратура применительно к различным видам авиационной радиосвязной и радионавигационной аппаратуры, системам управления огнем и двигателями, системам опознавания, помехозащищающим устройствам и другим. На рис. 19 показана автоматическая испытательная установка, размещенная в прицепе. Одной из наиболее сложных проблем при этом считается разработка систем, способных сравнивать сигналы, меняю-

щиеся во времени, и учитывать допустимые отклонения, также зависящие от времени. Не менее трудно создать устройства, позволяющие без участия людей производить проверку гидравлических и пневматических систем самолетов и, более того, осуществлять проверку их двигателей в состоянии покоя.

Развитие за рубежом систем автоматического контроля в авиации и ракетной технике свидетельствует о том, что автоматизация на основе использования достижений радиоэлектроники и других областей науки и техники охватывает не только область боевого использования средств вооруженной борьбы, но и их подготовку к бою.

Однако это не означает устранения людей от участия в обслуживании и использовании боевой техники и оружия. Число людей, участвующих в обслуживании техники, безусловно, сокращается. Но человек все равно оказывается необходим как создатель машин и командир, обладающий огромными знаниями и опытом, способный наилучшим образом использовать возможности автомата. От подготовки и качеств человека будет в конечном счете зависеть успех в бою.

ЭЛЕКТРОННАЯ МАШИНА И МОЗГ

Описанию принципа действия и устройства электронных вычислительных машин посвящено в настоящее время огромное число книг и брошюр. Не будем повторять их содержания, напомним только, что в общую схему электронной вычислительной машины входят такие неизменные составные части, как приспособления для подготовки и пробивки перфоленты, на которую может наноситься программа работы машин, вводное устройство, оперативная и долговременная «память», арифметическое устройство, устройство и пульт управления, выводное и печатающее устройства (рис. 20).

Основной носитель сигнала в электронной машине, как известно, электрический ток. Он выступает здесь в форме импульсов, имеющих весьма малую продолжительность (порядка миллиардной доли секунды). Поскольку в схеме машины используются электронные лампы или полупроводники, имеющие весьма незначительную инерцию, то и время реакции схемы получается

очень небольшим, в сотни тысяч меньшим, чем у механических и электромеханических устройств. Все это и определяет высокие скорости работы машины. Вот не раз публиковавшиеся цифры, говорящие о ее феноменальной производительности.

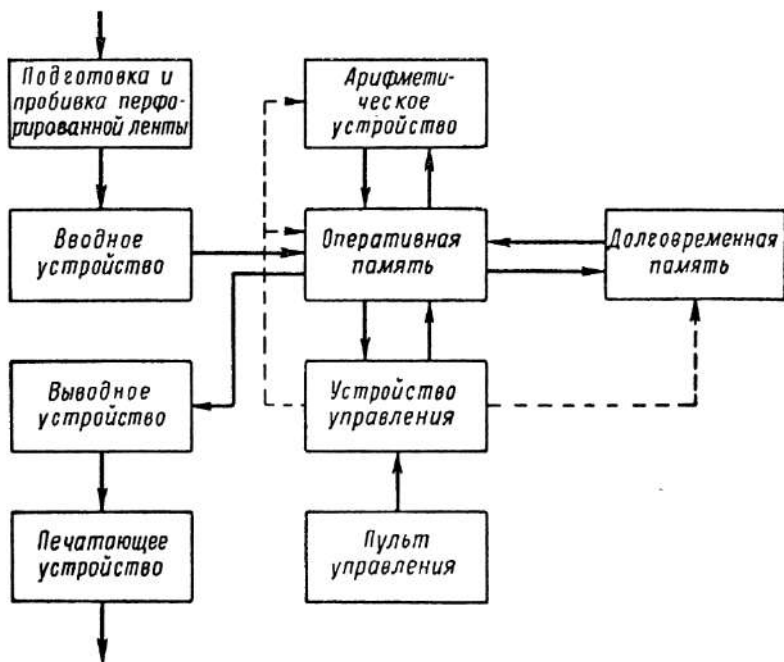


Рис. 20. Основные части электронно-вычислительной машины

Электронная машина способна производить вычисления с огромной скоростью — порядка миллионов арифметических операций в секунду с 10—15-разрядными числами. За несколько минут работы она сделает больше, чем вычислитель за всю свою жизнь. При этом не просто заменяется труд многих вычислителей, но возникают принципиально новые возможности. Машина способна выполнять не только математические операции огромного объема и диапазона, но и логические операции.

Но так ли уж совершенны электронные вычислительные машины, что в этой области не нужны данные бионики? Нет, этого сказать никак нельзя, и результаты ис-

следований ученых, изучающих передачу и прием информации в живом организме, и в особенности работу нервной системы и мозга, оказываются весьма ценными.

Результаты исследований в области бионики уже дали себя знать при разработке программ для электронных вычислительных машин. На основе наблюдений над тем, как человек подходит к решению специальных задач, и по образцу этого была создана так называемая эвристическая программа, имитирующая этот процесс у человека. Она происходит от эвристического метода нахождения истины путем постановки наводящих вопросов. При использовании такой программы машина успешно доказала 38 из 52 теорем.

Теперь перейдем к процессу передачи информации. Мы уже говорили, что в машине сигналом является импульс напряжения. Числа в ней записываются в двоичной системе, в которой основанием счисления является два. Любое число записывается комбинацией из нулей и единиц. В табл. 3 дано сравнение записи чисел в десятичной и двоичной системах счисления.

Таблица 3

Сравнение записи чисел в десятичной и двоичной системах счисления

Десятичная	Двоичная	Десятичная	Двоичная
0	0	8	1000
1	1	9	1001
2	10	10	1010
3	11	11	1011
4	100	12	1100
5	101	13	1101
6	110	14	1110
7	111	15	1111

Нуль и единица означают либо отсутствие, либо наличие импульса электрического напряжения. В передаче этих импульсов и состоит элементарный акт электронной машины. На входе машины применяется цепочка так называемых триггеров. Суть их устройства состоит в том, что они содержат две электронные лампы, включен-

ные так, что система имеет лишь два устойчивых состояния: при отсутствии тока в одной лампе и при отсутствии тока в другой. Первое состояние можно считать соответствующим нулю, второе — единице. Взяв цепочку триггеров, можно «записать» число в двоичной системе, такая цепочка именуется регистром. Если на регистре уже записано число и на него подается еще одно, то можно получить сумму их. Устройство, служащее для этой цели, называют сумматором. Числа передаются от одного узла машины к другому по проводам в виде электрических импульсов.

Не вдаваясь более в подробности работы машины, обратимся к тому, что известно о передаче информации в нервной системе. Сначала покажем несомненное превосходство устройств этого рода в живых организмах перед техническими. Специалисты как-то решили сравнить кодирование и полосу пропускания (полосу частот, пропускаемую без искажений) мозга и телевизионной системы. Для оценки указанных характеристик взяли обычное сновидение. Оценив количество кадров и элементов, как это обычно делается в отношении телепередачи, специалисты получили астрономическую величину для полосы пропускания 10^{20} — 10^{23} гц. Поскольку верхняя граница полосы в физиологических процессах не выше 100 гц, а число параллельных каналов не может превышать 10^9 — 10^{10} , предполагается, что способ кодирования информации в мозгу в громадное число раз экономнее, чем в современном телевидении. Как бы обогатила технику, в том числе и электронно-счетную автоматику, разгадка этого способа кодирования.

Что же представляют собой сигналы, передающие различную информацию в живом организме? Как уже говорилось выше, это импульсы нервного возбуждения.

Точнее сказать, передача раздражения по нервному волокну — это электрохимический процесс, протекающий за счет энергии, накопленной в самом волокне. Энергия, израсходованная нервом на проведение импульса, восполняется потом, в процессе питания нерва. Все сообщения передаются по нерву в двоичном алфавите: либо нерв находится в покое, либо возбужден. О разной степени возбуждения говорит повышение частоты следования импульсов. Таким образом, при передаче сообщений по нервам мы имеем дело с частотно-импульсной модуля-

цией, получившей в последнее время широкое распространение в технике связи.

Роль усилителей поступающих сигналов в нервной системе для их дальнейшей передачи играют нейроны. Они привлекают сейчас пристальное внимание ученых.

Нейрон содержит тело клетки (рис. 21). Древовидные отростки — дендриты — служат входами, по которым к телу клетки подводятся импульсы раздражения. Выходом служит аксон. Каковы же размеры нейрона? Его тело имеет размеры менее 0,1 мм. Длина дендритов составляет от долей миллиметра до десятков сантиметров, их диаметр — около сотой доли миллиметра. Количество отростков может достигать нескольких десятков и даже сотен. Аксоны могут быть длиной от долей миллиметра до полутора метров.

В передаче нервными волокнами возбуждения велика роль синапсов, то есть мест перехода возбуждения от одной нервной клетки к другой. Синапсы проводят возбуждение только в одном направлении, с окончаний аксона одного нейрона к дендритам и клеточному телу другого нейрона. Поэтому и волокна в целом проводят импульсы лишь в одном направлении: либо от центра к периферии, либо от периферии к центру (центростремительные нервы).

На рис. 22 изображены предсинапсовые нейроны, обозначенные буквой А, и послесинапсовые нейроны — В. Синапсов может быть от одного до нескольких сотен. Их особенно много у двигательных нейронов спинного мозга. Они передают импульсы, связанные с управлением движениями тела.

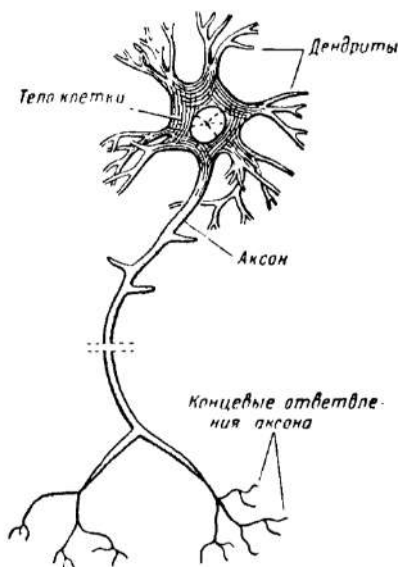


Рис. 21. Схематическое изображение нейрона

В мозгу человека, который ученые особенно настойчиво пытаются моделировать, насчитывается 10—15 миллиардов нейронов. Но дело не только в количестве, а и в их исключительной сложности и многообразии функций.

«Современная наука, — пишет в одной из статей известный советский ученый П. К. Анохин, — отчетливо показала, что сама нервная клетка и ее оболочка представляют собой целый мир разнообразных в химическом и физиологическом отношении образований.

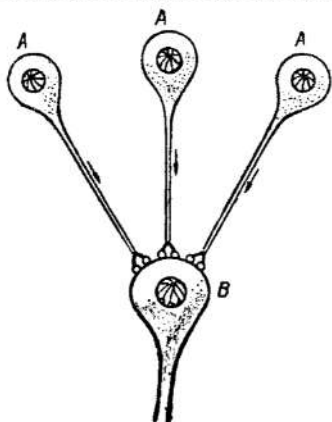


Рис. 22. Предсинапсовые нейроны (А) и послесинапсовые нейроны (В)

Тончайшими методами исследования с помощью электронных аппаратов было установлено, что сотни, а иногда и тысячи контактов, которые имеет каждая нервная клетка, — это только начало того удивительного процесса на молекулярном уровне, позволяющего на теле размером в 20 тысячных долей миллиметра получить бесконечное количество синтетических процессов — «личную долю» участия клетки в деятельности целого мозга».

Таким образом, нервную клетку вряд ли стоит рассматривать как элементарную деталь: это, условно говоря, уже «узел» «машины-мозга» со сложным комплексом функций, отражающих различные виды деятельности организма. Отсюда можно понять, как трудно искусственно воспроизвести такую клетку мозга.

Работам по созданию аналога нейрона посвящена основная часть исследований в области бионики за рубежом. Нейрон, как уже отмечалось, преобразователь с двоичным выходом, то есть с отсутствием или наличием сигнала. На нейрон биологического организма может подаваться возбуждающий или тормозящий импульс. Первый вызывает «срабатывание» нейрона, если величина энергии, накапливаемой нейроном за определенный отрезок времени, превысит некоторое, как говорят, поро-

говое значение. Если амплитуда импульса мала, нейрон не «срабатывает». Но если последовательно действуют несколько слабых сигналов, энергия которых в общей сложности превышает пороговое значение, то нейрон «срабатывает». Это означает, что он обладает свойством временного и пространственного суммирования. На выходе нейрона образуются импульсы стандартной величины и длительности.

Последовательным или временным суммированием именуют такое возбуждение нейрона, когда раздражения, меньшие пороговых, следуют через достаточно ко-

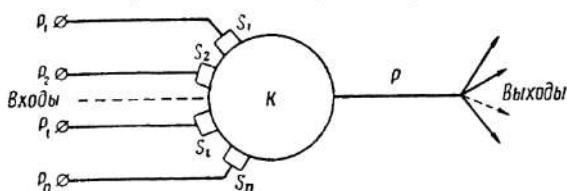


Рис. 23. Схема модели нейрона

роткие промежутки времени. Пространственное суммирование состоит в одновременном подведении к двум или нескольким синапсам отдельных раздражений, более слабых, чем пороговые значения. В сумме они могут вызвать возбуждение нейрона.

Схематически можно изобразить модель нейрона так, как показано на рис. 23. У нее множество входов, куда поступают сигналы P_1 , P_2 и т. д. Они действуют через синаптические контакты S_1 , S_2 и т. д. В этих контактах происходит задержка поступающего сигнала на время, в течение которого происходит выделение особого вещества, повышающего возбудимость нейрона и облегчающего реакцию клетки на последующие импульсы.

Воздействие на тело нейрона определяется суммой воздействий от всех входов и сигналами, действовавшими до этого. Срабатывание нейрона происходит, если воздействие превысит пороговое значение K . Тогда на выход нейрона поступает стандартный сигнал P .

Интересно, что сразу же после воздействия возбуждающего импульса пороговый уровень нейрона резко возрастает до бесконечности. Значит, никакой вновь приходящий сигнал не заставит его «срабатывать». Та-

кое состояние сохраняется обычно в течение нескольких миллисекунд. Затем пороговый уровень снижается.

Что касается тормозящего импульса, то он представляет собой запретный сигнал, делающий невозможным «срабатывание» нейрона от импульсов других входов.

В ряде зарубежных стран ведутся интенсивные работы по искусственному воспроизведению нейронов. В США, например, в этой работе участвует ряд научно-исследовательских учреждений, учебных заведений и фирм. В простейших аналогах нейрона используют всего один полупроводниковый прибор. В более сложных моделях берут несколько полупроводниковых приборов.

Аналог нейрона, содержащий четыре полупроводниковых прибора, имеет характеристики, близкие к своему биологическому прообразу. Этот аналог может возбуждать до 100 других приборов без существенного изменения формы и величины выходного сигнала. Предложенная конструкция применялась для воспроизведения функции глаза, где в качестве чувствительного элемента использовались селено-кадмиевые фотосопротивления (фотоэлементы, сопротивление которых меняется под влиянием видимого света).

Большой эффект дало соединение полупроводниковых приборов по принципу синаптических соединений в нервных тканях. При этом удалось имитировать действие этих тканей, как своеобразных фильтров, пропускающих лишь определенную информацию.

Для имитации нейронов применяются магнитные ферритовые сердечники, схемы специальных генераторов (мультивибраторов) и другие устройства.

Модель нейрона с мультивибратором показана на рис. 24. Главную роль играют полупроводниковые приборы T_2 и T_3 . В устойчивом состоянии T_2 заперт, так как на него подано отрицательное напряжение через сопротивление R_6 . Полупроводниковый прибор T_3 , напротив, находится в отпертом состоянии. При этом оказывается, что потенциал в точке A положительный (+20 в), а в точке B также положительный, но ниже по величине.

Если произойдет отпирание полупроводникового прибора T_2 и запираение T_3 , потенциал точки A резко снижается, а потенциал точки B возрастает. В результате этого на выход возбуждения подается положительный импульс напряжения, а на выход торможения — отрица-

тельный. Длительность импульсов зависит от выбора значений сопротивления R_m и емкости конденсатора C_m . Изменением величины емкостей C_2 и C_3 можно регулировать время возвращения системы в устойчивое состояние. Значением отрицательного напряжения, подаваемого на полупроводниковый прибор T_2 с сопротивления

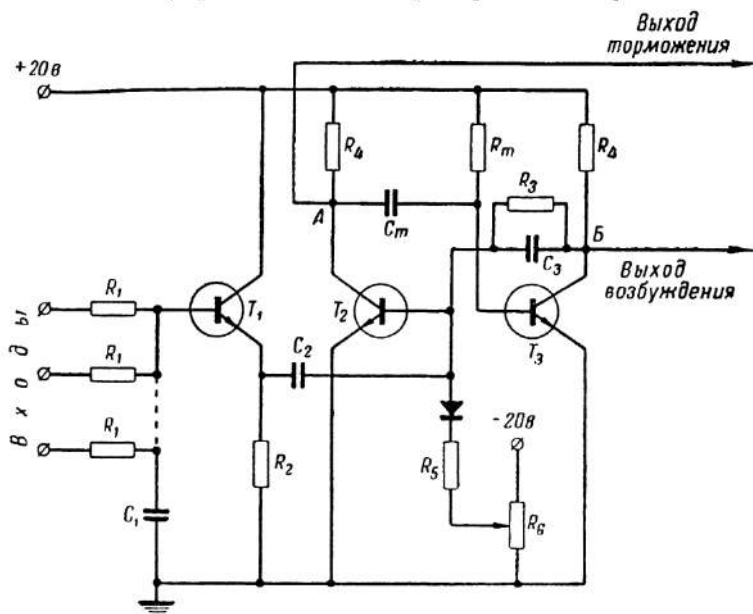


Рис. 24. Модель нейрона с использованием мультивибратора на полупроводниках

R_6 , определяется пороговая величина срабатывания аналога нейрона.

А возможно ли в этой схеме временное и пространственное суммирование, характерное для нейрона? Да, возможно. Для этой цели служат входные цепи, содержащие R_1 , C_1 и полупроводниковый прибор T_1 . Пространственное суммирование имитируется подачей сигналов на параллельные входы, временное — накоплением энергии в конденсаторе C_1 . Импульсы на вход аналога нейрона подавались определенной амплитуды и длительностью одна миллисекунда. Они были случайно распределены во времени. На выходе получался стандартный

сигнал напряжением 15 в и той же длительности, что и входной сигнал.

Такая схема позволяет воспроизвести многие характеристики нейрона, кроме его способности адаптации, то есть изменения порога срабатывания в зависимости от величины входных сигналов.

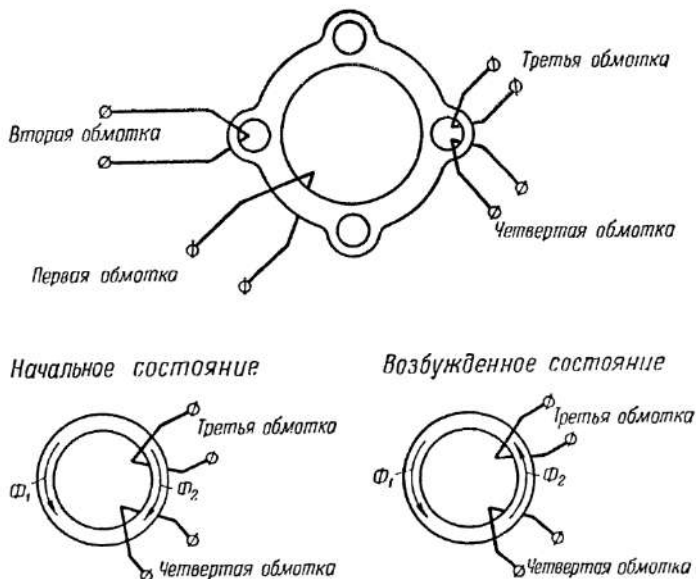


Рис. 25. Модель нейрона на магнитном элементе

Модель одного из образцов нейрона на магнитном элементе показана на рис. 25. Ток первой обмотки многоотверстного сердечника создает основной поток Φ , расщепляющийся на два потока Φ_1 и Φ_2 там, где есть отверстия (показаны в нижней части рисунка). Сердечник намагничен до насыщения.

Во вторую обмотку поступают токи входных сигналов. Если в сумме они больше некоторой пороговой величины, то в наружных частях сердечника, где есть отверстия, произойдет изменение направления магнитного потока Φ_2 .

Третья обмотка питается переменным током, четвертая — представляет собой выход модели нейрона. Как же сигнал поступает на выход? Когда нет сигнала во

второй обмотке, в четвертой не индуцируется э. д. с., так как в один полупериод магнитодвижущая сила будет совпадать с потоком Φ_1 , в другой полупериод — с потоком Φ_2 . Сердечник насыщен, и увеличения потока не будет ни в тот ни в другой период. Иное дело, когда поступит сигнал на вторую обмотку. Тогда Φ_1 и Φ_2 совпадут по направлению. И хотя в один полупериод они не смогут увеличиться, зато в другой полупериод они уменьшатся. А всякое изменение магнитного поля связано с наведением в проводнике, находящемся в этом поле, электродвижущей силы. Так возникает выходной сигнал в четвертой обмотке.

При имитации сложных нервных связей можно использовать и другие отверстия магнитного сердечника.

Какое значение все это имеет для техники? Оказывается, очень большое. Среди других задач усовершенствования электронных машин изучение процесса передачи информации нейронами дает возможность поставить вопрос об обеспечении высокой надежности действия этих машин. Известно, что при решении некоторых задач электронной вычислительной машине приходится проделывать, например, более десяти миллионов умножений. Поскольку в машине применяется двоичная система записи чисел, она десять миллионов раз будет умножать друг на друга тридцатизначные числа. Всего приходится выполнять 10^{10} элементарных актов. Чтобы эти вычисления дали безошибочный результат, вероятность ошибки должна быть меньше 10^{-10} . Обеспечить такое положение даже с помощью самых совершенных радиоэлектронных средств (транзисторов, ферритов и т. д.) пока не удастся. Всегда может оказаться в схеме одна ненадежная деталь, которая и вызовет ошибку. Как же выйти из этого положения? Как создать надежную машину из недостаточно надежных порой деталей?

И ученые вспомнили о механизме передачи информации нейронами. Специалисты рассудили так. Отдельные элементы машины могут сделать две независимые друг от друга ошибки: не подать импульса, когда он требуется, и подать его, когда он не нужен. Следовательно, желательно иметь устройство, которое бы занималось восстановлением первоначальных данных. Это устройство должно подключаться к множеству входных цепей органов переключения. Такая схема есть не что иное, как

воспроизведение процесса передачи информации нейронами. Как мы видели из рис. 22, синапсы В-нейронов являются окончаниями случайно сцепленных боковых отростков А-нейронов.

Выше отмечалось, что нейрон с очень высокой вероятностью возбуждается лишь тогда, когда импульсы получают определенное число синапсов. Отсюда следует вывод: можно иметь не одну, а несколько, например три, параллельно работающие машины. Они соединяются со смесителем, где устанавливаются совпадения хотя бы двух из трех результатов вычисления, и дальнейшие операции ведутся на основе совпавших результатов. Так «большинством голосов» устанавливается, что считать достоверным для дальнейшей работы. Таким путем можно строить машины, у которых вероятность ошибки может быть резко снижена.

Смеситель в этом случае выполняет функции нейрона. Поэтому сейчас ученые активно исследуют вопрос о том, какие бы автоматы можно было построить из нейронов. Все глубже изучаются сами нейроны. Теория нейронных автоматов открывает широкие возможности для совершенствования электронных вычислительных машин, повышения их надежности, улучшения переключателей, совершенствования их «памяти» в десятки раз. Характерно, что на первом симпозиуме в США по бионике большинство докладов было посвящено воспроизведению функций нервных клеток (нейронов), самообучающимся и самоприспосабливающимся машинам. В США ряд фирм разрабатывает электрические аналоги нейронов, чтобы с помощью их собрать схемы, обладающие большой скоростью обработки информации и свойством «самоорганизации».

Теперь о «памяти» электронных вычислительных машин. Выше, на рис. 20, мы в число неизменных частей машины включили оперативную и долговременную «память». Такое разделение «памяти» происходит оттого, что технически трудно в едином устройстве воплотить требования быстродействия и большой емкости. Поэтому оперативное запоминающее устройство имеет небольшую емкость, но обеспечивает быструю запись и съем числа. В долговременном запоминающем устройстве требуется больше времени для считывания, но емкость его весьма велика.

Какие существуют технические устройства «памяти»?

Процесс «запоминания» может представлять собой запись двоичных чисел на магнитную ленту или на барабан, покрытый магнитной лентой. Поскольку число в двоичной системе кодируется 1 и 0, то есть наличием или отсутствием импульса электрического напряжения, то при проходе тока по катушке с сердечником, расположенным вблизи ленты или барабана, они намагничиваются и хранят импульс. Можно фиксировать импульсы в форме электрических зарядов на диэлектрике. Таким диэлектриком может служить экран электронно-лучевой трубки, похожий на те, которые применяются в обычных телевизорах. Точечные заряды, образуемые пучком электронов, обозначают единицы чисел и хранятся довольно долго.

Существует также и ультразвуковая система «запоминания» — линии задержки. Они содержат в своем составе трубки, наполненные жидкостью (нередко ртутью). Напряжение прикладывается к пьезоэлектрическому материалу, расположенному в контакте с трубкой. Под действием напряжения в пьезоэлектрическом материале происходит механический толчок, который вызывает в жидкости ультразвуковую волну. Она движется от одного конца трубки до другого, где имеется выходная пластинка из пьезоэлектрического материала. Она преобразует ультразвук снова в электрический импульс. Время прохождения ультразвуковой волны (а она движется достаточно медленно) и есть время задержки импульса. Поскольку жидкость продолжает свои колебания и дальше, время «запоминания» может быть во много раз большим, чем период первичного движения волны.

Могут применяться и другие методы «запоминания», например с помощью ферритовых сердечников и т. д.

Чтобы не перепутать запоминаемые числа, им присваивают в электронной машине свои точные адреса. Если они записаны на экране электронно-лучевой трубки, то адрес числа определяется номером трубки, строки и столбца. В случае магнитной записи адрес — это номер отрезка магнитной ленты и дорожки на ней. Точно так же числа находятся по номерам линий задержки и импульса, колеблющегося в них.

Разумеется, для отыскания адреса применяются специальные коммутирующие устройства. Быстрее всего удастся отыскать число на экране электронно-лучевой

трубки, для этого достаточно задать нужный потенциал системе, управляющей лучом. Наиболее длительно приходится ожидать подхода нужного числа при записи на магнитной ленте.

Опишем подробнее действие «памяти» электронной машины с ультразвуковой линией задержки. Числа, «запоминаемые» этим способом, непрерывно циркулируют в замкнутом кольце. Прохождение чисел фиксируется счетчиком импульсов. Если нужно считать число, в регистр подается адрес места, откуда оно должно быть взято. Специальное устройство «следит» за тем, чтобы числа в счетчике и в регистре адреса совпали, только тогда число пропускается через выходные каналы. При записи также указывается адрес того места, где должно быть записано новое число, а старое число «забывается».

Мы так подробно описали циркулирующую «память» в схеме с линией задержки потому, что в ней, по предположениям специалистов, много общего с действием памяти человека. Считается, что память у людей осуществляется циркулирующей нервной возбуждения по замкнутому пути, состоящему из нервных волокон и клеток. Приверженцы этих взглядов будто бы уже обнаружили замкнутые петлеобразные нейронные структуры в нервных тканях рецепторов.

Венгерский ученый доктор технических наук Реже Тарян, много занимающийся вопросами нейронной автоматки, утверждает, что если из искусственных нейронов построить «нейронную сеть», то это дало бы «память» исключительного качества. Она на много порядков величин превосходила бы все, что может применяться в современных счетных машинах.

Но есть и другая точка зрения на механизм действия памяти человека: будто бы ею мы обязаны свойствам протеиновых молекул, имеющих в клетках. В ней меняется порядок расположения атомов, что дает огромное число состояний, отличающихся химическими свойствами и способных проявляться в физиологических функциях клетки. Гипотеза о том, что основой памяти является перестройка атомов протеиновых молекул, ценна тем, что объясняет наличие памяти у простейших организмов, чего не дает предположение о памяти как циркуляции нервной возбуждения.

Человек выбирает из своей памяти информацию по

ассоциации с образами реальных объектов. На аналогии с этим процессом основаны ассоциативные запоминающие устройства. В этих устройствах поиск данных производится не просто по адресу, а по признакам самой информации. Уже создан ряд макетов ассоциативных запоминающих устройств, где признаки информации записываются на перфорированных картах, магнитных элементах и т. п. Дальнейшее усовершенствование таких устройств позволит приблизить их к наиболее замечательному запоминающему механизму — человеческой памяти.

Данные бионики позволяют не только совершенствовать устройство частей и организационные принципы электронно-счетной автоматики, но и создавать машины, которые бы вели себя более биологически, то есть были «интеллигентнее», чем наши современные машины.

В США группой специалистов во главе с доктором Фрэнком Розенблатом разрабатывается новая теория, основываясь на которой можно создать электронное устройство, воспроизводящее деятельность мозга и во многом объясняющее процесс действия человеческой памяти. Используя эту теорию, удалось сконструировать модель электронной машины, которая, как утверждают авторы, способна классифицировать, воспринимать и символически изображать окружающие условия, а также учитывать совершенно новые и непредвиденные изменения в окружающей обстановке и делать это без вмешательства оператора.

Ставшая привычной для нас электронная вычислительная машина работает, как известно, строго по программе, составленной человеком, и стоит возникнуть необходимости в принятии непредвиденного решения, как она останавливается. Новое же устройство имеет свои «органы» восприятия звука, света, подобные органам чувств человека. В основе «органов» восприятия лежат известные радиоэлектронные и электромагнитные устройства. Безусловно, они не способны полностью выполнять то, что делают органы чувств человека, но позволяют значительно расширить круг сведений, обычно воспринимаемых машиной.

По характеру работы новая машина больше, чем любая другая, приближается к функциям мозга. Она воспринимает информацию, классифицирует ее и выводит

понятия. Большинство элементов «памяти» в ней соединено случайной, как это и есть в мозгу. Физиологи, как известно, считают, что соединения между ассоциирующими, или «думающими», клетками мозга организованы, по видимому, случайно. При получении информации в новой машине возбуждается не отдельный элемент, в котором накапливается определенный разряд информации, а одновременно большинство элементов.

Группа, руководимая Розенблатом, таким образом, исходила прежде всего из того, что функции памяти распределяются случайным образом в ассоциирующих элементах. Так и запоминающие ячейки машины распределены беспорядочно. Но их соединения, безусловно, не могут изменяться произвольно в процессе ее работы. Готовя машину, способную воспринимать явления действительности, ученые считали, что любой мыслящий организм делается способным понимать окружающую обстановку в процессе обучения и накопления опыта, а не получает это свойство по наследству. Поэтому все запоминающие ячейки перед включением и началом «обучения» машины были полностью нейтральными.

На рис. 26 показаны процессы восприятия зрительных впечатлений *а* — человеком и *б* — новой машиной, названной перцептроном (от слова «перцепция» — восприятие). Рис. 27 воспроизводит основные части этой машины, участвующие в воспроизводстве зрительных образов. «Видеть» ей помогает линза, фокусирующая образ на «сетчатке» из 400 миниатюрных фотоэлементов. Каждый такой образ возбуждает ряд фотоэлементов, это возбуждение передается в ассоциирующие ячейки, общее число которых достигает 512. След в «памяти» остается благодаря тому, что запоминающие элементы, направляющие сигнал на включение реагирующих устройств, могут его усиливать. Однако, сталкиваясь с новым впечатлением, машина, как и человек, сначала допускает ошибки. Но следы в «памяти» постепенно закрепляются, и согласно теории вероятностей удастся добиться того, что определенные возбуждения влекут за собой одну и ту же реакцию. Это означает, что машина приобрела определенное «понятие» в отношении окружающих ее условий. Практически оказывается необходимым сделать 15 попыток, после которых машина дает 100 процентов правильных ответов.

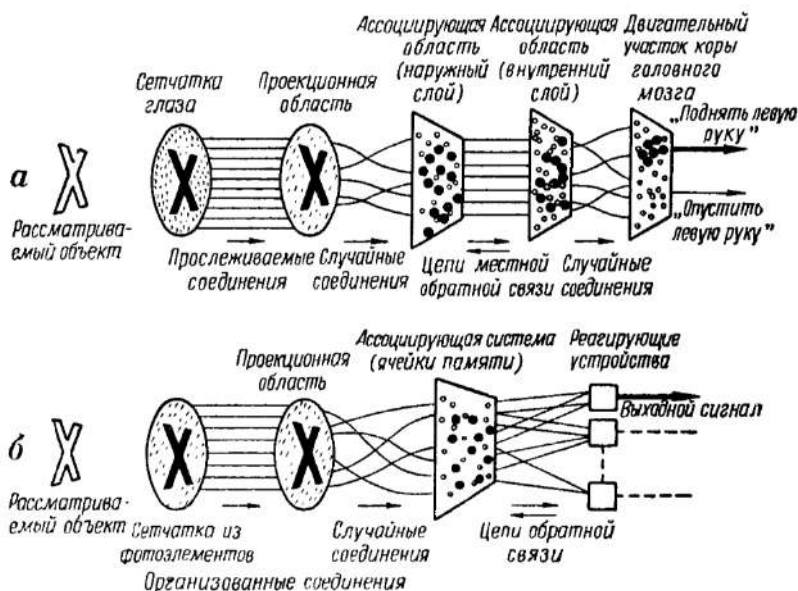


Рис. 26. Процессы восприятия зрительных впечатлений:
 а — человеком (предположение); б — электронно-вычислительной машиной — перцептроном

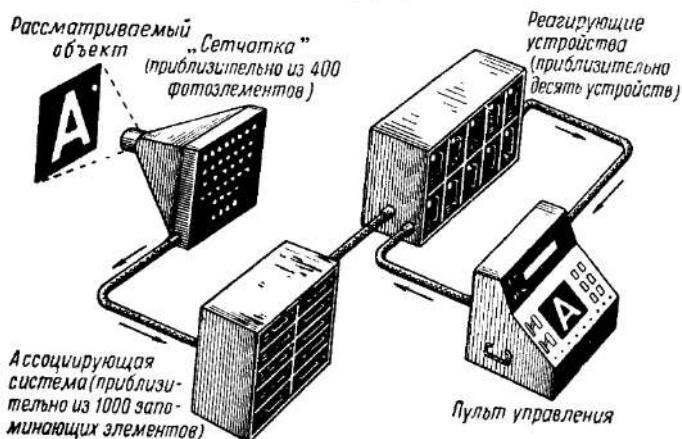


Рис. 27. Основные части электронно-вычислительной машины — перцептрона

Оператор может «научить» машину приходить к нужным заключениям. Этому способствует наличие обратной связи. От реагирующих устройств сигналы обратной связи поступают в запоминающие ячейки, которые вызвали их включение. Эти сигналы увеличивают «силу» запоминающих ячеек, то есть служат как бы «вознаграждением» для той их группы, которая вызвала к действию реагирующие устройства.

У машины предусмотрено ручное управление для выработки нужных понятий. За правильный ответ машина «вознаграждается» (усиливается эффективность действия соответствующих ячеек) и «наказывается» за ошибку (снижается их эффективность).

Следует отметить, что «научить» новую машину математике так же трудно, как и человека. Поэтому электронная вычислительная машина в производительности счета имеет такое же преимущество перед перцептроном, как и перед человеком.

Чему же реально «научилась» простейшая модель новой машины? Без какой-либо помощи человека она точно определяла расположение геометрических фигур справа и слева от ее «поля зрения». Она оказалась способной «научиться» различать буквы алфавита. Предполагается, что перцептрон сможет распознавать человеческую речь и превращать ее в сигналы, управляющие, скажем, буквопечатанием. Машина способна делать переводы с одного языка на другой, подбор литературы, просмотр патентов. В военном деле считается целесообразным ее использование в наведении управляемых снарядов, самолетовождении. Здесь она может намного облегчить процесс принятия решения, который сейчас целиком возложен на людей. Считается вероятным применить машины нового типа для воздушной разведки, так как они способны сообщать непредвиденные данные, обнаруживать изменения в обстановке и т. д.

При оценке способности машины распознавать снимки ей было «показано» большое количество фотографий кораблей в море, ракетных установок, самолетов. Оказалось, что правильно «обученная» машина способна различать на снимках одиночные цели, а также объекты, находящиеся в окружении других по форме предметов. Например, уже у первой модели машины правильность

опознавания ангаров и капониров достигала 100 процентов, самолета в капонире — 92 процентов, самолетов вне укрытий — 94 процентов.

Не случайно военно-морской флот США заинтересовался созданием образца машины с тысячей запоминающих ячеек. Предполагается, что такая машина не превзойдет по размерам обычного стола. Правда, пока запоминающие ячейки очень сложны и дороги. Поэтому главное внимание конструкторы уделяют разработке компактных, недорогих и надежных запоминающих ячеек. По последним сообщениям, второй образец перцептрона уже построен. Он содержит в 20 раз больше элементов «памяти» и более сложную схему взаимосвязей, чем первая модель. Американская военщина намерена этот усовершенствованный перцептрон уже в ближайшее время применить для автоматической расшифровки результатов воздушной разведки — аэрофотоснимков и опознавания на них целей.

С применением искусственных нейронов уже создаются машины, обладающие способностью распознавания, еще более совершенные, чем первые перцептроны. Уже создана, например, машина на разновидности электронного нейрона — артроне. Этот электронный нейрон сложнее других аналогов. Он обладает 16 состояниями и свойством задержки. Это чрезвычайно чувствительный элемент, имеющий два входа и один выход. Входной и выходной сигналы имеют цифровую форму. Отличие машины на артронах от первых перцептронов заключается в том, что пути прохождения сигнала между чувствительными элементами и артронами изменяются непрерывно случайным образом, пока в процессе «обучения» не будут найдены оптимальные пути. Но даже и после «обучения» машина легко возвращается к этапу случайного прохождения сигнала.

Основной механизм, с помощью которого такая машина «обучается», составляют четыре высокоскоростных переключателя. Они, сравнивая поступивший сигнал с пороговым уровнем, определяют, разомкнуть переключатель или оставить замкнутым. В первом случае сигнал к артрону не проходит, во втором — проходит. Схема обратной связи и здесь обеспечивает «поощрение» или «наказание», уменьшая или увеличивая пороговый уровень переключателя.

Машина на артронах, по данным зарубежной печати, может применяться для автоматического управления беспилотными космическими летательными аппаратами, будет способствовать созданию быстродействующих командных машин для штабов войсковых подразделений, облегчающих выработку решений командиром. Машина может успешно управлять оборудованием, работающим в опасных условиях.

В печати сообщается и о создании еще одного аналога нейрона для логических устройств. Это — нейристор. Он может выполнять все логические операции существующих электронно-вычислительных машин и даже некоторые функции, которые им пока, как говорят, не под силу. По схеме это канал, содержащий термисторную полосу и распределенную емкость. В них распространяются сигналы — электрические разряды, проходящие с постоянными скоростью и амплитудой. После прохождения разряда прибор в течение некоторого времени становится невосприимчивым и не поддерживает разряды. Спустя некоторый период он восстанавливает работоспособность. Логические устройства на нейристорах характерны тем, что прибор и соединительные провода составляют одно целое.

Одна зарубежная фирма предложила самопрограммирующую машину, которая самостоятельно выбирает оптимальный подход к решению задачи. Она предназначена для распознавания сигналов гидролокатора.

Перед применением машину «обучают». На перфорированную ленту блока «памяти» записываются сигналы гидролокатора и эхо-сигнал, создаваемый кораблем. Если машина путает то и другое, процесс сравнения повторяется, пока она не даст правильный ответ. «Обученная» таким путем машина может анализировать сигналы подводной локализации лучше, чем оператор.

Одна из американских фирм построила бионическую обучающуюся машину для быстрого опознавания и классификации трехмерных объектов, имеющих форму шара, куба, пирамиды и эллипсоида. Это качество, по мнению специалистов США, оказывается очень ценным при просмотре, анализе, отборе фотографий на разведывательных спутниках перед передачей их на Землю. И не только в этом случае, но и при распознавании мест запуска снарядов или самих снарядов с борта самолетов или

спутников, а также обнаружении боеголовок ракет среди ложных целей.

Такая бионическая машина состоит из объектива, 400 фотоэлементов, усилителей сигналов фотоэлементов, ассоциативного блока «памяти», состоящего из 400 простых логических схем, ответных логических устройств и цифровых логических устройств, указывающих форму наблюдаемого объекта. Выход каждого усилителя соединен (по случайному закону) со входами девяти логических схем блока «памяти».

Как же работает такая бионическая машина? Когда оптическое изображение проектируется на фотоэлементы, сигналы от них после усиления поступают в логические схемы ассоциативной «памяти», отсюда — на два ответных логических устройства. Вот здесь-то и происходит процесс обучения машины. На входе ответных устройств сигналы «взвешиваются», то есть в зависимости от того, способствует или нет наличие этого сигнала правильному опознаванию, он либо усиливается, либо ослабляется. Это достигается благодаря уменьшению или увеличению сопротивлений на входе ответных логических схем.

Из моделей нейронов создаются целые сети, которые предназначаются для имитации тех или иных функций нервной системы. Конструируются сети, меняющие свои параметры в соответствии с изменениями характера раздражений, а также сети, предназначенные для запоминания данных и способные к «обучению».

На втором симпозиуме по бионике сообщалось, что в США создана обучающаяся машина на нейронной сети из 102 мемисторов. Мемисторы — это жидкие элементы, конструктивно оформленные в виде небольших пластмассовых сосудов объемом в одну треть кубического сантиметра. Сосуды заполнены электролитом и имеют электроды. Действие элементов основано на изменении сопротивления от 3 до 100 ом. Сеть из таких мемисторов имитирует работу зрительного органа человека при распознавании образов. На базе этой машины предполагается создать устройство для решения комплексных навигационных задач, предсказания погоды и т. п.

В США разрабатывается также машина, предназначенная для распознавания речи и печатания текста с голоса. Специалисты занимаются также проблемой преобразования набора чисел в записанный на магнитную

ленту человеческий голос. Этот голос вводится в электронно-вычислительную машину, и она производит математический анализ звуков. А затем из полученных чисел вновь воссоздается (синтезируется) человеческая речь, также записанная на магнитную пленку. Подобный анализ и синтез речи будут очень ценными для сужения каналов связи.

Большое значение для связи в особых случаях боевого применения военной техники, например самолетов, будет иметь преобразование речевого спектра частот в механические колебания. Эти механические колебания будут восприниматься не ухом, а кожей человека.

Дело в том, что в летящем самолете шум мешает приему звуковых сигналов органами слуха. Кожа восприимчива к частотам, в девять раз меньшим, чем частоты, воспринимаемые ухом (1000—4000 гц). Поэтому, когда преобразовали звуковые частоты в механические колебания, операторы могли определять некоторые звуки при помощи пальцев, находящихся на вибраторе. Кроме снижения влияния шума такая передача обладает и большей скрытностью.

Исследования в области обучаемых и самообучающихся машин ведутся и в СССР. Как сообщил в одном из своих выступлений в печати известный советский ученый В. М. Глушков, в Вычислительном центре Академии наук УССР (теперь он называется Институтом кибернетики) электронную машину «обучали» смыслу фраз на русском языке. Программа была предусмотрена такая: машине сообщается некоторое число осмысленных фраз; затем в процессе проверки она правильно отсортировала осмысленные фразы от бессмысленных, причем делала это не только для тех фраз, которые она усвоила в процессе «обучения», но и для незнакомых ей фраз.

При моделировании на машине процесса «обучения» смыслу фраз на русском языке можно было имитировать различные типы «обучения» — от голой зубрежки до склонности к поспешным обобщениям и неумемному фантазированию.

Одним из сотрудников Института автоматики и телемеханики Академии наук СССР была выдвинута гипотеза компактности, позволяющая объяснить процесс обучения и искусственно воспроизвести его. В настоящее время гипотеза компактности проверяется на животных.

Чтобы понять смысл гипотезы компактности, представим себе плоскость, разделенную на клетки и заполненную «п»-фотоэлементами, имитирующими «приемники» световых раздражений-рецепторов (рис. 28, слева). Если на это своеобразное фотополе проектируется изображение, то возбуждаются вполне определенные фотоэлементы. Состояние всего фотополя можно охарактеризовать одной точкой, как говорят, в пространстве рецепторов

Воздействие буквы А на фотополе

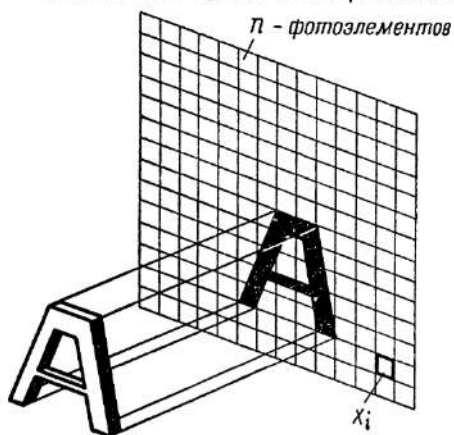


Схема пространства рецепторов

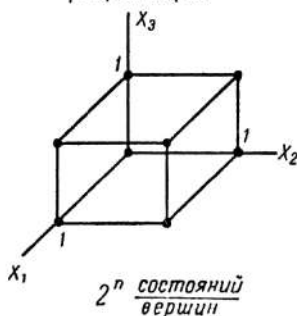


Рис. 28. Схема процесса «обучения» машин опознаванию буквы А

(рис. 28, справа). Эта точка — вершина единичного куба. Значит, букве А будет соответствовать в зависимости от написания одна группа точек, букве Б — другая группа точек в пространстве рецепторов. Ученые предполагают, что и в мозгу человека каким-то путем формируются области в пространстве рецепторов, соответствующие тому или иному образу.

Гипотезу компактности можно сформулировать так: человек воспринимает множество различных зрительных ощущений как единый образ, если множество точек, которое соответствует этому ощущению, в пространстве рецепторов является в известном смысле компактным множеством. Задача «обучения» машины, таким образом, заключается в проведении в пространстве поверхностей, отделяющих одну область от другой, а это и означает способность различать образы. В процессе «обучения» машина

«запоминает» положение точек, соответствующих буквам А, Б и т. д. в пространстве рецепторов. В результате, когда потом машине показывают букву, она определяет, где лежит точка, характеризующая показанное изображение, и в зависимости от этого «отвечает», какая это буква.

На основе этой гипотезы была разработана программа, реализованная на цифровых машинах. И оказалось, что машины очень легко «выучиваются» распознавать пять цифр: 0, 1, 2, 3 и 5 (в связи с тем, что цифра 4 похожа на цифру 1, ее в первых опытах не использовали).

В ходе обучения машине показывали 40 отобранных цифр и сообщали условным кодом, какие это цифры. Затем показывали остальные 160 вариантов каждой цифры, не виденных ранее машиной. Ей предстояло распознать их. И она из 800 случаев допустила лишь... четыре неточности.

За первыми успешными опытами советских ученых последовали новые. На небольшом учебном материале машина «научилась» распознавать все десять цифр. Сейчас изучается возможность распознавания машиной всех букв алфавита и даже портретов.

Советские ученые считают, что в ближайшее время машины удастся обучить не только распознаванию образов, но и обучить их более сложным процессам. Такие машины в будущем могут заменять человека при выполнении им самых тонких операций. Например, они будут способны судить по звуку работающего агрегата о его исправности или, прослушивая биение сердца, ставить диагноз. При этом интересно, что строить машины можно одинаковыми, а затем специализировать их, «обучая» тому или иному «ремеслу».

Действительный член Академии наук УССР В. Глушков утверждает, например, что электронная вычислительная машина, обрабатывая некоторый экспериментальный материал, может открыть какой-то новый закон природы, абсолютно неизвестный составителю программы. Разумеется, более естественно говорить, что соответствующий закон открыт машиной вместе с программистом, но ведь когда ученый открывает что-либо, то авторство не распространяется на тех, кто его учил.

Самообучающиеся машины — это дальнейшее развитие систем с автоматическим приспособлением, о которых шла речь в предыдущей главе. Самообучающиеся уст-

ройства накапливают опыт управления и повышают свою «квалификацию». При этом они способны выполнять такие функции, которые заранее не были заложены в них. Речь идет о том, что если конструктор заложил в машину способность совершенствоваться и обучаться, то, реализуя эту способность, автомат сам находит наилучшую структуру и законы поведения, которые могут оказаться неожиданными для самого конструктора. Таким образом может быть осуществлен процесс совершенствования автоматов на манер живых форм, сулящий самые замечательные результаты.

* * *

В заключение хотелось бы еще раз подчеркнуть общность законов управления в технике и живой природе. Эта идея — краеугольный камень кибернетики. Изучение процессов управления в живых организмах имеет чрезвычайно важное значение для развития техники, в особенности автоматике.

Управление, как целенаправленное воздействие, предполагает наличие цели. Такая цель может быть лишь у живого организма. Теперь благодаря творческому гению человека появились автоматы, в которых целенаправленные воздействия совершаются без непосредственного участия живых организмов. Цель в эти автоматы вложил их создатель — человек.

Процесс управления в автомате или живом организме состоит из трех частей: изучения управляемого объекта, выработки стратегии управления, реализации выбранной стратегии. Выше мы говорили об обучаемых и самообучающихся машинах: они могут взять на себя одну из операций управления, а именно изучение управляемого объекта. Вторая часть процесса — выработка стратегии управления — может осуществляться также рассмотренными выше системами автоматического поиска. Третья операция — реализация принятой стратегии управления — осуществляется техническими устройствами, задача которых состоит в том, чтобы возможно оперативнее и точнее устанавливать выбранные режимы работы. При этом важно обеспечить наибольшую эффективность управления.

По мнению специалистов Института автоматике и телемеханики Академии наук СССР, некоторые процессы

управления в живых организмах протекают в соответствии с принципами оптимального управления. Поэтому сотрудники Института совместно с биологами и медиками проверяют свои предположения на живых объектах. Внедрение все более совершенных автоматов не умаляет, а увеличивает роль человека в применении современных технических средств. Ему принадлежит в царстве автоматики по праву место командира, принимающего окончательное решение. Это особенно ярко проявляется в военном деле, где также происходит бурное внедрение автоматики и телемеханики.

В свете всего вышесказанного можно яснее понять, почему при решении задач управления учитываются не только технические стороны дела, но и психологические и физиологические факторы, связанные с участием человека в процессах управления. Такие работы в СССР ведутся специалистами по автоматике в содружестве с психологами и физиологами.

Решению этих сложных задач призвана помочь и бионика. Не случайно один советский ученый образно назвал автоматическое управление деревом, питающимся соками актуальных практических задач автоматизации, с вершиной, уходящей в область тончайших проблем высшей нервной деятельности человека. Нет сомнения, что развитие этого плодотворного направления позволит достигнуть новых успехов в создании и совершенствовании техники коммунистического общества, необходимой как для расцвета производительных сил Родины, так и для защиты ее безопасности от любых посягательств извне.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Винер. Кибернетика, или управление и связь в животном и машине. М., изд. „Советское радио“, 1958.
 2. И. А. Полетаев. Сигнал. М., изд. „Советское радио“, 1958.
 3. В. А. Трапезников. Кибернетика и автоматическое управление. Журнал „Природа“, апрель 1962.
 4. С. А. Догановский. Автоматические самонастраивающиеся системы. М., изд. „Знание“, 1961.
 5. Л. П. Крайзмер. Бионика. М., Госэнергоиздат, 1962.
 6. Реже Тарян. Проблемы кибернетики. Журнал „Природа“, июнь 1959.
 7. Aviation Week, 7 июля 1958.
 8. Missiles and Rockets, 29 июня и 6 июля 1959.
 9. Aviation Week, 3 октября 1960.
 10. Electronic Design, 14 сентября 1960.
 11. Radio-Electronics, май 1960.
 12. Electronics, 23 сентября 1960.
 13. Life, 28 августа 1961.
 14. Bionics Symposium, 1960, 1961.
-

СОДЕРЖАНИЕ

	<i>Стр.</i>
От издательства	2
Начало положила кибернетика	3
Чудесные органы	13
Биотоки и управление на расстоянии	17
Локация и навигация в природе и технике	27
Самонастраивающиеся системы в биологии и автоматике . .	37
Электронная машина и мозг	55
Литература	81

К ЧИТАТЕЛЯМ!

Просим присылать свои отзывы
об этой книге по адресу: Москва,
К-160. Военное издательство.

Инженер-полковник *Астишенков Петр Тимофеевич*
ЧТО ТАКОЕ БИОНИКА
(Серия „Научно-популярная библиотека“)
М., Воениздат, 1963, 88 с.

Редактор *Кадер Я. М.*
Консультант издательства
полковник, кандидат медицинских наук *Вакар М. И.*
Обложка художника *Жук А. Б.*
Технический редактор *Зудина М. П.*
Корректор *Гутчина Н. Я.*

Сдано в набор 18.1.63 г. Г-92213. Подписано в печать 23.4.63 г.
Формат бумаги $84 \times 108^{1/32}$ — $2^{3/4}$ печ. л. = 4,51 усл. печ. л. — 4,415 уч.-изд. л.
Тираж 35000 экз. ТП 63 г. № 64
Военное издательство Министерства обороны СССР
Москва, К-160

Изд. № 1/4194.

Зак. 818.

1-я типография
Военного издательства Министерства обороны СССР
Москва, К-6, проезд Скворцова-Степанова, дом 3
Цена 13 коп.

„НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ БИБЛИОТЕКА“

Книги массовой «Научно-популярной библиотеки» Военного издательства материалистически объясняют явления природы, знакомят с современным состоянием науки и техники по самым различным отраслям знаний, связанным с военным делом. В них популярно рассказывается, как с развитием науки и техники происходят существенные изменения в военном деле, создаются новые виды боевой техники и вооружения, меняются способы их использования в бою. Книги помогают нашим военным кадрам постоянно совершенствовать свои военные знания, овладевать новой боевой техникой, повышать бдительность и боеготовность войск. Книги написаны общедоступно и рассчитаны на широкие круги личного состава Вооруженных Сил Союза ССР, советскую молодежь и членов ДОСААФ.

ВЫШЛИ В СВЕТ В 1959 ГОДУ

1. Г. И. Покровский. Наука и техника в современных войнах.
2. Я. Г. Вараксин. Радиоэлектроника в военном деле.
3. И. А. Науменко. Атомные силовые установки.
4. А. А. Жуховицкий. Меченые атомы.
5. Ф. В. Майоров. Электронные вычислительные машины и их применение.
6. Сб. статей. Применение атомной энергии в авиации и ракетной технике.
7. Сб. статей. Атомная энергия и флот.
8. А. Н. Пономарев. Современная реактивная авиация.
9. П. Ф. Колоницкий. Марксизм-ленинизм о религии.
10. К. Л. Воропаева. Жил ли Христос?
11. Д. И. Сидоров. О христианских праздниках, постах и обрядах.
12. Ф. К. Меньшиков. Алкоголизм — враг здоровья.
13. И. В. Стрельчук. Пьянство губит человека.
14. В. А. Мезенцев. Религиозные суеверия и их вред.
15. Н. А. Ильин. Наука и религия о жизни и смерти.
16. А. И. Опарин. Происхождение жизни.
17. В. И. Прокофьев. Знание и вера в бога.
18. А. Ф. Буянов. Материалы настоящего и будущего.

ВЫШЛИ В СВЕТ В 1960 ГОДУ

1. А. И. Иванов, Г. И. Рыбкин. Поражающее действие ядерного взрыва.
2. А. А. Космодемьянский, К. Э. Циолковский — его жизнь и работы по ракетной технике.
3. Б. В. Ляпунов. Ракета.
4. Н. П. Петров, В. П. Сырнев. Радиоактивные излучения и их измерения.
5. Л. А. Беликов. Бактериологическое оружие и способы защиты от него.
6. Н. Н. Розенталь. Христианство, его происхождение и сущность.
7. Л. Н. Великович. С крестом и атомной бомбой.
8. Н. С. Мансуров. Наука и религия о психической деятельности.
9. А. В. Воропай. Пьянство и борьба с ним.
10. А. Греков и Г. Никитин. Солдат пришел со службы. (Из строя военного в строй трудовой.)
11. Г. Г. Громоздов, А. А. Подрудков. Как сохранить здоровье.

ВЫШЛИ В СВЕТ В 1961 ГОДУ

1. Ф. И. Долгих, А. П. Курантов. Коммунистическое воспитание и преодоление религиозных пережитков.
2. Ф. И. Гаркавенко. Что такое религиозное сектантство?
3. В. А. Мезенцев. Предвидение науки и пророчества религии.
4. Сб. статей. Мы порвали с религией.
5. Д. И. Сидоров. Война и религия.
6. Л. Н. Великович. Религия — идеологическое оружие империалистов.
7. В. И. Прокофьев. Две морали (мораль религиозная и мораль коммунистическая).
8. К. И. Беляев. Быт и религия.
9. Г. С. Гудожник. Техника и религия.
10. И. С. Стекольников. Наука и религия о молнии и громае.
11. В. Т. Тер-Оганезов. Наука и религия о солнечных затмениях.
12. В. Е. Рожнов. Пьянство — общественное зло.
13. Е. А. Кринов. Небесные камни (метеоры и метеориты).
14. Н. С. Мансуров. Преобразование природы и религия.
15. Н. И. Рязанцев. Есть ли у человека судьба?

ВЫШЛИ В СВЕТ В 1962 ГОДУ

1. Ю. А. Победоносцев. Путь в космос (достижения ракетной техники).
2. М. Г. Крошкин. Человек проникает в космос.
3. Б. В. Ляпунов. Ракеты и межпланетные полеты.
4. Ю. Н. Сушков. Двигатели космических кораблей.
5. В. Г. Фесенков. Разгадывая тайны планет.
6. В. Е. Рожнов. Гипноз и религия.
7. Ю. А. Артомошин, Л. П. Москаленко. Правда о христианских сектах.
8. Л. Н. Великович. Каски и сутаны (религия на службе западно-германских империалистов).

ВЫШЛИ В СВЕТ В 1963 ГОДУ

1. Д. И. Сидоров. Защита Родины и религия.
2. Н. А. Гритченко. Как бороться с утомлением и повысить выносливость в бою.
3. С. Г. Суворов. О чем рассказывает свет.

ГОТОВЯТСЯ К ПЕЧАТИ И ПОСТУПАЮТ В ПРОДАЖУ

1. Ю. Н. Сушков. Полеты в космос.
2. Б. В. Ляпунов. Станция вне Земли.
3. В. В. Шаронов. Луна — первая станция на пути в космос.
4. Д. Я. Зильманович. Пионер советского ракетостроения Ф. А. Цандер.
5. К. Ф. Огородников. Загадки космоса (строение звездного мира).
6. М. В. Беляков. Воздушный океан (строение атмосферы).
7. Ф. И. Долгих, А. П. Курантов. Коммунистическое воспитание и преодоление религиозных пережитков.
8. А. В. Белов, С. С. Никоненко. Наука против суеверий.
9. Н. С. Мансуров. О правде жизни и религиозных выдумках.
10. Л. Н. Великович. Молебны за мир и подготовка новой войны (религия на службе американских империалистов).
11. К. А. Паюсов. Советский воинский долг и религия.

12. В. И. Прокофьев. Кодекс коммунистической морали и религиозная «нравственность».
13. И. А. Лавров. Береги и укрепляй здоровье.
14. А. В. Воропай. Почему вредно курить.
15. А. С. Богданович. Не все это знают (алкоголь — яд).
16. Г. Г. Громоздов. За здоровый быт.

КНИГИ ВОЕННОГО ИЗДАТЕЛЬСТВА

продаются в магазинах «Военная книга», библиотечных коллекторах и книжных киосках Управлений торговли военных округов и флотов.

* * *

Вышедшие из печати и поступившие в продажу книги Военного издательства можно приобрести по почте, направив заказ «Военная книга — почтой» по одному из следующих адресов:

Алма-Ата, ул. Шевченко, 108.
Ашхабад, ул. Ленина, 32/20.
Баку, ул. 28 апреля, 20.
Владивосток, Ленинская, 18.
Киев, Красноармейская, 10.
Куйбышев обл., Куйбышевская, 91.
Ленинград, Невский, 20.
Львов, проспект Ленина, 35.
Минск, ул. Куйбышева, 16.
Москва, А-167, Красноармейская, 18а.
Новосибирск, Красный проспект, 61.
Одесса, Дерибасовская, 13.
Рига, Б. Смилшу, 16.
Ростов-на-Дону, Буденновский, 76.
Свердловск, ул. Ленина, 101.
Североморск, ул. Сафонова, 14.
Ташкент, ул. Шота Руставели, 39.
Тбилиси, пл. Ленина, 4.
Хабаровск, ул. Дзержинского, 95.
Харьков, 3, Дворец Труда.
Чита, ул. Ленина, 111а.

Книги высылаются без задатка, наложенным платежом, т. е. с оплатой книг на почте при их получении. Стоимость почтовой пересылки относится за счет заказчика.

Для получения книг в адрес полевой почты следует перевести деньги вперед, для чего предварительно запросить «Военная книга — почтой» о стоимости книг и пересылки.

Магазины
«ВОЕННАЯ КНИГА»

принимают предварительные заказы на книги Военного издательства, находящиеся в печати и еще не поступившие в продажу.